



TUGAS AKHIR - SF 141501

ANALISA MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG SESAR PADA ZONA SUBDUKSI DI WILAYAH SUMATERA BARAT DARI *EVENT* GEMPA PADA TAHUN 2014-2017

MASYITATUS DARIS SALAMAH
NRP 0111134000054

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISA MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG
SESAAR PADA ZONA SUBDUKSI DI WILAYAH
SUMATERA BARAT DARI *EVENT* GEMPA PADA
TAHUN 2014-2017**

MASYITATUS DARIS SALAMAH
NRP 0111134000054

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - SF 141501

**MOMEN TENSOR ANALYSIS AND FAULT PLANE
PATTERN ON SUBDUCTION ZONE IN WEST
SUMATERA REGION FROM EARTHQUAKE EVENT
ON 2014-2017**

MASYITATUS DARIS SALAMAH
NRP 0111134000054

Advisor
Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U

Department of Physics
Faculty of Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG SESAR PADA ZONA SUBDUKSI DI WIALAYAH SUMATERA BARAT DARI EVENT GEMPA PADA TAHUN 2014-2017

TUGAS AKHIR


Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas
Akhir Program Studi S-1
Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MASYITATUS DARIS SALAMAH
NRP. 01111340000054

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U
NIP. 19550210 198010.1.001

()



**ANALISA MOMEN TENSOR DAN POLA BIDANG
SESAAR PADA ZONA SUBDUKSI DI WILAYAH
SUMATERA BARAT DARI EVENT GEMPA PADA
TAHUN 2014-2017**

Nama : Masyitatus Daris Salamah
NRP : 011113400000054
Departemen : Fisika, FIA- ITS
Pembimbing : Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, S.U

Abstrak

Penelitian dengan fokus analisa momen tensor dan pola bidang patahan dapat dilakukan pada gempa bumi wilayah Sumatera barat pada tahun 2014-2017 dengan memanfaatkan program ISOLA-GUI. Prinsip program ini mengolah tiga komponen gelombang seismik yang terekam dalam seismogram. Data berupa gelombang diolah sesuai masing-masing event gempa yang terjadi dan digunakan perhitungan fungsi Green serta inversi. Pada tahap inversi digunakan 4 filter f_1, f_2, f_3, f_4 yang diisi sesuai event. Plotting untuk hasil dilakukan setelah tahap inversi dan didapatkan nilai variance reduction yang bernilai mendekati 1. Plot selanjutnya berupa nilai momen tensor beserta pola bidang patahan yang disimbolkan dengan beachball. Pengolahan tersebut dilakukan pada seluruh event gempa. Setelah perhitungan, pengolahan, dan interpretasi, maka nilai momen tensor yang diperoleh adalah $M_{33}=7.492e^{12}$ hingga $0.793e^{15}$, $M_{11}= 6.787e^{12}$ hingga $0.243e^{15}$, $M_{22}= 4.282 e^{12}$ hingga $0.013 e^{15}$ serta nilai $M_{31}= 4.220 e^{12}$ hingga $0.633e^{15}$ hingga, $M_{32} = 0.496e^{12}$ hingga $0.225e^{15}$, $M_{12}= 0.068 e^{12}$ hingga $0.438e^{15}$, serta bentuk pola focal mechanism bidang sesar wilayah Sumatera Barat terdiri atas normal-slip dan sesar dalam (dip-

slip) pada area Active Subduction, dan strike-slip, reverse fault serta oblique fault pada area Mentawai Fault.

Kata kunci : ISOLA-GUI, fungsi Green, inversi, plotting, beachball, normal-slip, strike-slip, oblique fault.

MOMENT TENSOR ANALYSIS AND FAULT PLANE PATTERN ON SUBDUCTION ZONE IN WEST FOCAL SUMATERA REGION FROM EARTHQUAKE EVENT ON 2014-2017

Name : Masyitatus Daris Salamah
NRP : 01111340000054
Departement : Fisika, FMIPA ITS
Advisor : Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, S.U

Abstract

The research with focus of moment tensor analysis and fault mechanism pattern have been measured by ISOLA-GUI program to earthquake events at west Sumatera region from earthquake event on 2014-2017. This program's principle is using three seismic component that recorded by seismogram. Data from seismogram as wavelength processed accordingly to each earthquake events and also processed using Green function with filter inversion. The filter inversion step used four filters such as f_1 , f_2 , f_3 , f_4 that will be filled accordingly to each events. Plot for the result is done after the inversion and variance reduction value that close to 1 will be obtained. The next plot is about moment tensor value and also the fault plane pattern that symbolized by beachball. This process was done for whole of the earthquake events. After the measurement, processing and interpreting steps, then the result of moment tensor value $M_{33} = 7.492e^{12}$ to $0.793e^{15}$, $M_{11} = 6.787e^{12}$ to $0.243e^{15}$, $M_{22} = 4.282e^{12}$ to $0.013e^{15}$, $M_{31} = 4.220e^{12}$ to $0.633e^{15}$ to, $M_{32} = 0.496e^{12}$ to $0.225e^{15}$, $M_{12} = 0.068e^{12}$ to $0.438e^{15}$ As well as the fault pattern, the result is normal-slip reverse fault pattern at active subduction area and strike-slip so oblique fault pattern located at Mentawai Fault area.

Keywords : ISOLA-GUI, Green function, inversion, beachball, normal-slip, strike-slip, oblique fault.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah, kami ucapkan kepada Allah SWT karena atas berkah, rahmat, dan petunjukNya yang diberikan kepada kami sehingga laporan Tugas Akhir (TA) ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam senantiasa kami sampaikan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi teladan dan menuntun kami ke jaman yang terang benderang dengan cahaya iman dan ilmu pengetahuan.

Atas izin Allah SWT, kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir (TA) dengan judul **“Analisa Momen Tensor Dan Pola Bidang Sesar Pada Zona Subduksi Di Wilayah Sumatera Barat Dari Event Gempa Pada Tahun 2014-2017”**, sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu jurusan Fisika ITS. Pembuatan laporan ini juga melibatkan berbagai pihak yang senantiasa membantu secara ilmu, moral dan materi. Keikhlasan dalam membantu kami menyelesaikan laporan ini, semoga mendapatkan balasan yang baik dari Allah SWT. Dengan penuh suka cita, kami sampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua, saudara dan keluarga yang telah memberikan dukungan berupa doa, semangat, moral maupun materi.
2. Prof. Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
3. Prof. Dr. Suasmoro, DEA selaku dosen wali atas bimbingannya selama 4.5 tahun penulis belajar di Departemen Fisika ITS.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng selaku Ketua Departemen Fisika.
5. Moh. Wiqayatuallah, Firmansyah Hanafi, Moh Akbar, Alfiah Alifah, Nala Nur Ramadhan yang banyak memberikan semangat, doa dan waktunya dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Rekan bimbingan kelompok satu topik dan beberapa rekan yang turut membantu teknis pengolahan data serta banyak

- memotivasi, mulai dari S1(Aldi Hardiansyah Pratama, Fathul Alamsyah, Putu Riadi). S3 (Bapak Gazali)
7. Teman-teman SUPERNOVA FISIKA 2013 dan berbagai pihak yang telah terlibat dan mendukung penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
 8. Laboratorium Geofusuka FISIKA ITS yang telah memberikan tempat dan fasilitas untuk pengolahan data laporan.
 9. Seluruh Dosen dan pegawai di Departemen Fisika FIA ITS Surabaya yang telah memberikan ilmu pada penulis selama masa kuliah S1 Departemen Fisika FIA ITS.

Dalam penyusunan laporan ini kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat kami harapkan. Diluar kekurangan tersebut, semoga laporan ini dapat menjadi referensi masyarakat luas. Amin.

Surabaya, Januari 2018

Penulis
masyitatusds@gmail.com

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gempa bumi	5
2.2 Lempeng Tektonik	7
2.3 Lokasi dan geologi regional	9
2.4 Gelombang seismik	10
2.5 Mekanisme Pusat Gempa	14
2.6 Momen Tensor	17
2.7 Isola GUI	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Peralatan Penelitian	21
3.2 Penentuan Lokasi Penelitian	21
3.3 Diagram Alir Penelitian	22
3.4 Pengambilan Data	22
3.5 Proses Pengolahan Data	23
3.5.1 Pre- Processing Data	23
3.2.2 Pengolahan Data dengan Isola	23

3.6 Analisa dan Pembahasan.....	31
3.7 Kesimpulan.....	32
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data.....	33
4.1.1 Data Penelitian.....	33
4.1.2 Hasil Perhitungan	33
4.1.2 a Hasil Momen Tensor	33
4.1.2 b Hasil Focal Mechanism	34
4.2 Pembahasan.....	38
BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49
BIOGRAFI PENULIS	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lempeng tektonik terbesar pada permukaan bumi.	7
Gambar 2.2	Macam-macam interaksi bondari antar lempeng ...	8
Gambar 2.3	Macam-macam patahan.....	9
Gambar 2.4	Peta wilayah administrasi provinsi Sumatera Barat	9
Gambar 2.5	Gelombang body	11
Gambar 2.6	Gelombang sesar	12
Gambar 2.7	Gelombang love dibawah permukaan bumi	13
Gambar 2.8	Gelombang Rayleigh dibawah permukaan bumi..	13
Gambar 2.9	Ilustrasi dari teori keelastikan lempeng	14
Gambar 2.10	Skema diagram dari mekanisme fokus gempa. (A) Pola <i>beachball</i> terhadap proyeksi bidang sesar dilihat dari samping. (B)	17
Gambar 2.11	Sistem pasangan komponen momen tensor dalam koordinat kartesian	19
Gambar 3.1	Peta Provinsi Sumatera Barat(www.bpkp.go.id)...	21
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian.....	22
Gambar 3.3	Pengambilan data dari <i>website</i> www.webdc.eu	23
Gambar 3.4	Tampilan awal program ISOLA-GUI	24
Gambar 3.5	Tampilan model bumi Sumatera Barat.....	25
Gambar 3.6	Tampilan hasil plot model bumi Sumatera Barat.	25
Gambar 3.7	Tampilan penentuan <i>event info</i>	26
Gambar 3.8	Tampilan pemilihan stasiun perekam gempa	26
Gambar 3.9	Tampilan <i>import</i> data <i>SAC</i>	27
Gambar 3.10	Tampilan <i>raw data preparation</i>	27
Gambar 3.11	Tampilan penentuan lokasi sumber seismik	28
Gambar 3.12	Tampilan perhitungan fungsi green	28
Gambar 3.13	Tampilan penentuan proses inversi	29
Gambar 3.14	Tampilan plotting hasil inversi.....	30
Gambar 3.15	Hasil solusi CMT (<i>Centroid Moment Tensor</i>) pada gempa.....	30
Gambar 3.16	<i>Plotting</i> bidang patahan dan <i>auxiliary plane</i>	31

Gambar 4.1	(a) orientasi bidang patahan (hijau) (b) bentuk <i>beach ball</i> dari pola bidang sesar <i>reverse fault</i>	35
Gambar 4.2	(a) orientasi bidang patahan (merah) (b) bentuk <i>beach ball</i> dari pola bidang sesar <i>oblique reverse</i>	36
Gambar 4.3	(a) orientasi bidang patahan (merah) (b) bentuk <i>beach ball</i> dari pola bidang sesar <i>strike slip</i>	37
Gambar 4.4	a) orientasi bidang patahan (hijau) (b) bentuk <i>beach ball</i> dari pola bidang sesar <i>oblique reverse</i>	37
Gambar 4.5	(a) orientasi bidang patahan (hijau) (b) bentuk <i>beach ball</i> dari pola bidang sesar <i>dip slip</i>	38
Gambar 4.6	kurva korelasi data <i>observed</i> dan <i>synthetic</i> untuk gempa pada tanggal 31/08/2017 dengan <i>origine time</i> 17:06:56	39
Gambar 4.7	Pola bidang sesar pada wilayah Sumatera.....	41
Gambar 4.8	Korelasi pola bidang sesar antara hasil penelitian dengan referensi yang telah ada	42

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data event yang terjadi di Sumatera Barat	33
Tabel 4.2	Nilai momen tensor pada setiap <i>event</i> gempa untuk gempa Sumatera Barat Hasil	33
Tabel 4.3	Bidang sesar dan <i>auxiliary plane</i> untuk masing-masing event gempa yang terjadi di Sumatera Barat.	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

KURVA KORELASI DATA OBSERVASI (SEISMOGRAM) DAN PERHITUNGAN FUNGSI GREEN.....	52
--	----

LAMPIRAN 2

KURVA KORELASI POLA BEACHBALL DAN KEDALAMAN.....	56
---	----

LAMPIRAN 3

NILAI MOMEN TENSOR DAN POLA BEACHBALL.....	62
---	----

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin maju dan semakin besar pula jumlah penduduk yang perlu menempati suatu wilayah tertentu dan akan semakin membutuhkan daerah baru yang dapat ditempati. Daerah atau wilayah yang baik untuk ditempati sangat bergantung pada pergerakan lempeng bumi, semakin stabil daerah tersebut maka semakin baik untuk ditempati tinggal. Namun daerah lempeng stabil sangat jarang untuk ditemui karena hampir seluruh wilayah merupakan pertemuan dua atau lebih lempeng utama dunia yang selalu bergerak. Indonesia merupakan salah satu negara di Asia Tenggara yang mempunyai wilayah yang sangat luas. Indonesia tepat berada di perbatasan dua samudera yaitu samudera Pasifik dan samudera Hindia, namun tidak hanya itu saja Indonesia juga berada pada perbatasan benua Asia dan benua Australia. Berdasarkan letak secara geografis tersebut, Indonesia adalah tepat berada pada lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang mempunyai tatanan geologi yang kompleks dimana kondisi ini disebabkan letaknya yang berada pada daerah tumbukan dua lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia dibagian selatan dan lempeng Eurasia dibagian utara yang ditandai dengan terdapatnya pusat-pusat gerakan tektonik di Kepulauan Mentawai dan sekitarnya. Lempeng-lempeng tersebut sangat aktif pergerakannya sehingga pergerakan lempeng akan mengakibatkan gempa bumi. (bkpmp. Sumbarprov.go.id)

Gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang tidak dapat dicegah karena sering terjadi secara tiba-tiba. Gempa bumi dapat menimbulkan bencana dan kerugian yang terjadi meliputi gempa tektonik maupun vulkanik. Gempa tektonik terjadi akibat aktivitas blok lempeng sedangkan gempa vulkanik terjadi akibat banyaknya aktivitas gunung api pada wilayah Indonesia. Akibat dari aktivitas tektonik banyak diperlukan pada sebuah analisa

pola pergeseran dari sesar yang membentang dari Sumatera Utara samapai Sumatera Selatan yang dinamakan SFZ (*Sumatera Fault Zone*) (Madlazim, 2010) melewati wilayah Sumatera Barat dengan menganalisa pola bidang sesarnya. Informasi yang diperoleh dari analisa pola bidang sesar ini akan mempermudah dalam mengetahui pola geometri dari patahan yang ada di zona subduksi yang dihasilkan dari gesekan antar lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia maupun sesar aktif dari SFZ (*Sumatera Fault Zone*) (Madlazim, 2010). Selain itu di lepas pantai Sumatera Barat terdapat sesar Mentawai atau MFZ (*Mentawai Fault Zone*) yang berada diantara zona subduksi dengan SFZ (Mukti dkk, 2012).

Sehingga diperlukan penelitian Tugas Akhir untuk mengetahui pola bidang sesarnya dari *focal mechanism* yang didapat dari penentuan momen tensor dari bidang sesar akibat gempa yang terjadi serta besar *slip* dari sesar. Berdasarkan *event* gempa pada tahun 2014-2017 diwilayah Sumatera Barat, webdc mencatat 24 *event* dengan kekuatan gempa 4.8 SR dan 34 Stasiun data dalam format.SAC. Data penelitian ini diolah menggunakan program ISOLA GUI. ISOLA mengenai momen tensor dan *focal mekanisme event* gempa, yang dijalankan dengan menggunakan Matlab.

1.2 Permasalahan

Rumusan masalah yang akan mendasari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan momem tensor dari *event* gempa yang terjadi?
2. Bagaimana menentukan pola bidang sesar dari *Focal mechanism*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan momen tensor dari *event* gempa yang terjadi
2. Menentukan pola bidang sesar dari analisa *focal mechanism*

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Wilayah penelitian gempa berada di Sumatera Barat.
2. *Event* yang digunakan terjadi pada tahun 2014-2017
3. Magnitudo gempa yang diteliti lebih dari sama dengan 4.8 SR (*Skala Richter*)
4. Penelitian ini dibatasi hanya pada penentuan momen tensor dan *focal mechanism* gempa.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai pola bidang sesar dan mekanisme focus gempa bumi di Sumatera Barat.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian ini. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dari penelitian, Bab III metodologi penelitian, Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya, dan Bab V kesimpulan dan saran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa timbulnya getaran pada bumi akibat adanya perambatan gelombang karena pergeseran lempeng bumi. Gempa bumi merupakan suatu peristiwa bergetarnya bumi yang disebabkan karena terjadinya pelepasan energi yang terjadi didalam bumi. Gempa bumi sering kali ditandai dengan adanya patahan lapisan batuan yang berada pada kerak bumi, energi yang menyebabkan terjadinya gempa bumi adalah dikarenakan adanya pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Pergerakan lempeng-lempeng raksasa akan dapat menyebabkan adanya suatu tekanan pada bidang pertemuannya. Tekanan tersebut timbul karena adanya pergerakan lempeng-lempeng yang terus membesar sehingga suatu saat tekanan tersebut sudah tidak mampu lagi ditahan maka yang akan terjadi akan pecah dan terangkatnya batuan, untuk pelepasan tekanan tersebut akan menimbulkan getaran atau gelombang yang akan menjalar kesegala arah, batuan yang pecah tersebutlah yang menimbulkan suatu getaran atau guncangan yang sering kali disebut dengan gempa bumi. Menurut Noor (2006), gempa bumi adalah getaran dalam bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Jadi gempa bumi dapat diartikan sebagai rambatan gelombang didalam tanah karena pelepasan energi kinetik dalam bumi, sumber energi yang dilepaskan dapat berasal hasil tumbukan lempeng dan letusan gunung api atau longsor masa batuan atau tanah. Sepanjang batas-batas lempeng terdapat sebaran pusat-pusat gempa (episenter). Selain gempa tektonik terdapat gempa minor. Gempa minor merupakan gempa yang disebabkan oleh longsor tanah, letusan gunung api, dan aktivitas manusia. Gempa minor biasanya hanya

dirasakan secara lokal dan getarannya tidak menimbulkan kerusakan dan kerugian yang signifikan (Noor, 2006).

Berdasarkan penyebab terjadinya gempa bumi dibagi menjadi tiga kelompok yaitu (Bowler, 2003)

1. Gempa Bumi Tektonik

Gempa bumi tektonik terjadi akibat adanya perpindahan atau dislokasi karena pergeseran lapisan bumi secara tiba-tiba. Hal tersebut dapat berupa tarikan atau tekanan. Ada dua macam pergeseran bumi yaitu secara vertikal dan horizontal.

2. Gempa Bumi Vulkanik

Gempa bumi vulkanik merupakan gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas gunung api atau letusan gunung api. Terdapat energi yang mendesak lapisan bumi pada saat dapur magma bergejolak. Energi yang mendesak lapisan bumi sampai ke permukaan disertai getaran. Apabila gunung api yang akan meletus biasanya mengakibatkan gempa bumi.

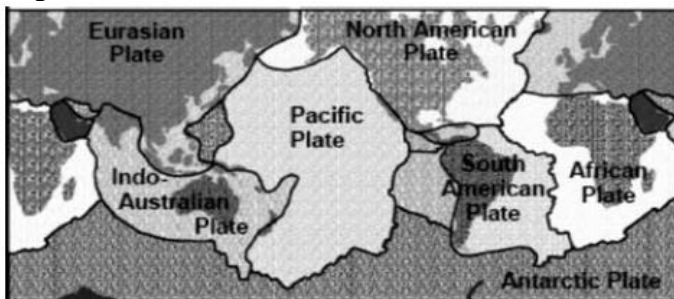
3. Gempa Bumi Runtuhan

Gempa bumi runtuh merupakan gempa bumi yang terjadi akibat dari runtuhnya atap gua atau terowongan tambang dibawah tanah runtuhnya gua dan terowongan yang besar dapat mengakibatkan getaran yang kuat.

Pergeseran di sepanjang jalur patahan yang terjadi pada jalur patahan aktif mengakibatkan gaya yang bekerja dengan arah yang berlawanan dan energi yang terhimpun didalam batuan akan dilepas dan merambat kesegalah arah sebagai gelombang longitudinal (gelombang P) dan gelombang transversal (gelombang S). Gelombang yang merambat didalam batuan inilah yang dapat menghancurkan bangunan yang ada dipermukaan bumi (Noor, 2006).

2.2 Lempeng Tektonik

Konsep dasar dari lempeng tektonik didapatkan berdasarkan pergeseran benua. Adanya struktur lautan, wilayah kepulauan, bentuk patahan dan daerah orogenik mendukung teori pergeseran benua. Lempeng benua bergeser akibat aliran panas dari lapisan mantel yang bergerak menuju permukaan bumi. Pergerakan lempeng benua juga didasarkan pada pola sirkulasi mantel bumi. Ada banyak sekali lempeng tektonik yang terdapat pada dunia. Tujuh lempeng tektonik terbesar antara lain Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, Lempeng Amerika Utara, Lempeng Amerika Selatan, Lempeng Afrika, dan Lempeng Antartika. (Datta T.K, 2010)

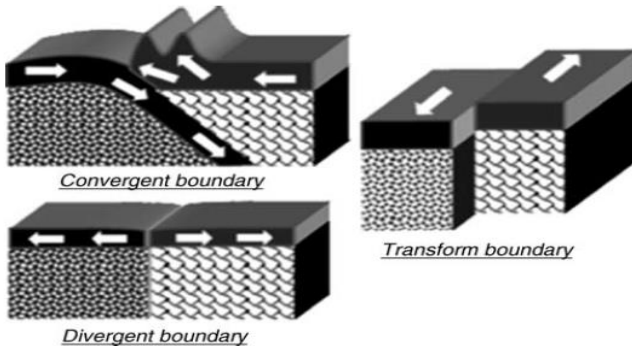


Gambar 2.1.Lempeng tektonik terbesar pada permukaan bumi. (Murty C.V.R, 2005)

Secara fungsi waktu, pergerakan lempeng benua dimulai semenjak beberapa juta tahun lalu. Faktanya, 225 juta tahun yang lalu hanya terdapat satu benua yang sangat besar dinamakan Pangaea. Daratan Pangaea terbelah menjadi dua daratan benua pada 25 juta tahun selanjutnya yaitu benua Laurasia dan Gondwanaland. Selanjutnya 135 juta tahun silam, daratan Laurasia terpecah belah menjadi Amerika Utara dan Eurasia. Serta daratan Gondwanaland terbelah menjadi daratan India, Amerika Selatan, Afrika, Antartika dan Australia. Daratan-

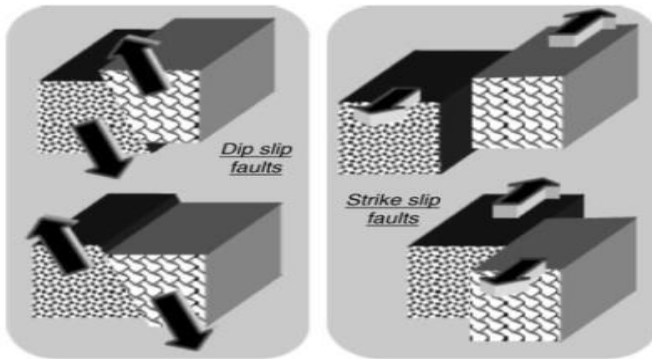
daratan tersebut bergeser secara sistematis dan terbentuk daratan seperti sekarang. (Haluk, Sinan, 2014)

Lempeng-lempeng tektonik bergerak dengan arah dan kecepatan yang berbeda. Lempeng tersebut berinteraksi satu sama lainnya dan membentuk beberapa pola. Pada umumnya, terdapat tiga macam interaksi yang terjadi. Interaksi tersebut antara lain pola konvergen, divergen, dan bondari.



Gambar 2.2. Macam-macam interaksi bondari antar lempeng. (Murty, C.V.R, 2005)

Pola patahan pada bondari antar lempeng yang mengakibatkan adanya gempa bumi tektonik. Patahan seringkali juga disebabkan karena gempa bumi, namun hanya sedikit terjadi. Pada pola yang terbentuk didapatkan dua macam perbedaan slip antara lain *dipslip* dan *strikeslip*. *Dipslip* terbentuk dengan arah vertikal, sedangkan slip lainnya yaitu *strikeslip* mempunyai arah horisontal. Patahan yang terbentuk akibat *dipslip* terjadi ketika *upper rock bed* bergerak ke atas maupun ke bawah. Untuk patahan yang terbentuk akibat *strikeslip* terjadi ketika lapisan lateral bagian samping (kiri maupun kanan) patahan bergeser dengan arah yang berbeda satu sama lainnya. (Datta T.K, 2010)



Gambar 2.3 Macam-macam patahan (*fault of slip*). (Murty C.V.R, 2005)

2.3 Lokasi dan Geologi Regional

Lokasi penelitian berada di wilayah Sumatera Barat dengan koordinat posisi $0^{\circ}54$ lintang utara sampai dengan $3^{\circ}30$ lintang Selatan serta $98^{\circ}36$ sampai dengan 101.53° bujur timur. Berikut peta lokasi penelitian di Sumatera Barat:



Gambar 2.4 Peta wilayah administrasi provinsi Sumatera Barat

Wilayah Sumatera Barat di bagian Barat terdapat zona subduksi di sepanjang palung sunda di Barat Kepulauan Mentawai yang memanjang hingga Selatan Jawa. Pada zona subduksi, lempeng samudera bergerak ke Utara relatif tegal lurus terhadap bentuk Pulau Sumatera dengan kecepatan 6-7 cm/tahun khususnya menjadi faktor sering terjadinya gempa bumi setelah periode tertentu pada bidang batas kontak lempeng samudera dan lempeng kerak kepulauan. Sumatera berada pada batas lempeng konvergen antara dua lempeng yang rigid yaitu lempeng Eurasia dan Indo-Australia. Pergerakan dip *slip* terjadi sepanjang zona subduksi Sumatera (Megathrust), selama ratusan tahun interface dan megathrust tetap terkunci. Dengan demikian pergerakan relatif dari kedua lempeng tersebut menyebabkan peningkatan akumulasi energi di sekitar interface. Apabila akumulasi energi sudah melebihi batas maka akan terjadi rupture dan gerakan tiba-tiba (*lurch*) sehingga dapat menimbulkan terjadinya gempa besar dan tsunami (Madrinovella dkk, 2011).

Pulau Sumatera dan pulau Jawa terletak diantara tiga zona yang dapat mengakibatkan gempa bumi di Indonesia. Pertama zona subduksi lempeng yang disebut dengan palung sunda. Palung ini membusur melalui sebelah selatan Sumba, selatan Jawa, barat Sumatera hingga Andaman. Kedua, sistem Sesar Sumatera (Sesar semangko) membentang sepanjang pegunungan Bukit Barisan sampai wilayah Aceh di utara, sejajar dengan batas lempeng atau daerah subduksi sebelah barat Sumatera. Ketiga, sesar mentawai, sesar bate, dan sesar andaman barat merupakan sesar strike-*slip* yang membujur di antara Sesar Sumatera dan Palung Sunda (Maskur, 2011). Konvergensi antara lempeng samudera dan benua membentuk zona palung busur, seperti yang terdapat di Sumatera dan Jawa.

2.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat naik di dalam ataupun di permukaan bumi yang berasal dari sumber

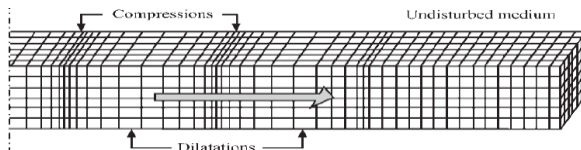
seismik seperti sumber gempa bumi, letusan gunung berapi, ledakan dan lain sebagainya. Gelombang seismik tergolong dalam golongan mekanik, dimana dalam perambatannya membutuhkan medium. Gelombang gempa bumi juga dikatakan sebagai gelombang elastik karena dalam perambatannya melalui perantara batuan yang termasuk dalam medium elastik. (Afnimar 2009)

Gelombang seismik dapat diklarisifikasikan menjadi dua kelompok yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*Surface wave*).

1. Gelombang badan (*body wave*) merupakan gelombang yang merambat melalui lapisan dalam bumi. Gelombang badan merambat didalam medium yang dilaluinya. Gelombang badan dibedakan menjadi dua jenis gelombang yaitu:
 - a. Gelombang Primer (*P-wave*)

Gelombang P adalah gelombang longitudinal yang arah osilasi partikelnya searah dengan arah rambat gelombang. Gelombang P merupakan gelombang tiba paling awal di permukaan bumi karena memiliki kecepatan yang paling tinggi di antara gelombang yang lain (Afnimar 2009). Persamaan dari kecepatan gelombang P adalah sebagai berikut:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

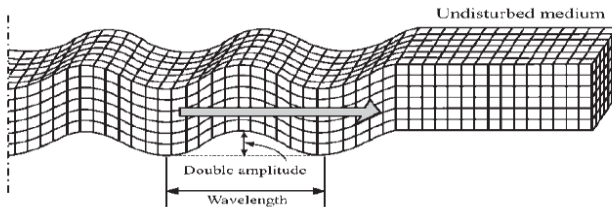


Gambar 2.5 Gelombang *body*. (Elnashai and Sarno, 2008)

b. Gelombang Sekunder (S-wave)

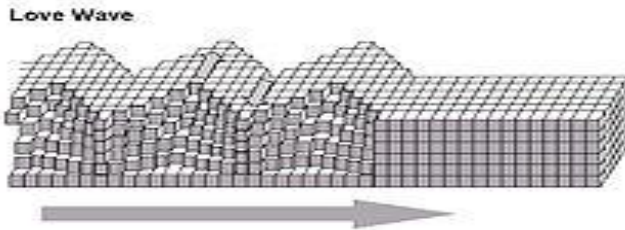
Gelombang S merupakan gelombang transversal yang gerak partikelnya tegak lurus dengan arah rambat gelombang. Berbeda dengan gelombang P, gelombang S hanya dapat menjalar pada medium padat. Terdapat dua tipe gelombang S yaitu gelombang SV (*shear vertical*) dan gelombang SH (*shear horizontal*). Persamaan dari kecepatan gelombang S adalah sebagai berikut:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$



Gambar 2.6 Gelombang shear. (Elnashal and Sarno, 2008)

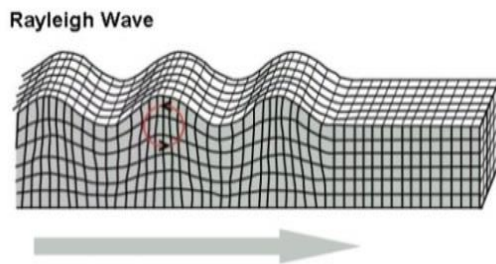
2. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*) merupakan gelombang yang merambat melalui permukaan bumi. Gelombang permukaan merambat sejajar dengan medium yang dilaluinya. Gelombang permukaan dapat dibedakan yaitu:
 - a. Gelombang Love adalah gelombang yang terbentuk akibat adanya interferensi gelombang-gelombang pantul dengan gelombang SH pada suatu lapisan yang dekat dengan permukaan bumi. Gerak partikel yang dilewati oleh gelombang Love sama pada saat medium tersebut dilewati oleh gelombang SH hanya saja besarnya amplitudo berkurang terhadap kedalaman (Afnimar 2009)



Gambar 2.7 Gelombang *Love* di bawah permukaan bumi

b. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang terbentuk akibat adanya interferensi gelombang- gelombang pantul P dan gelombang SV yang sudut datangnya melebihi sudut kritis. Gerak partikel medium yang dilewati berbentuk elips yang merupakan kombinasi gerak gelombang pantul P dan SV. Amplitudo gelombangnya turun terhadap kedalaman (Afnimar 2009)



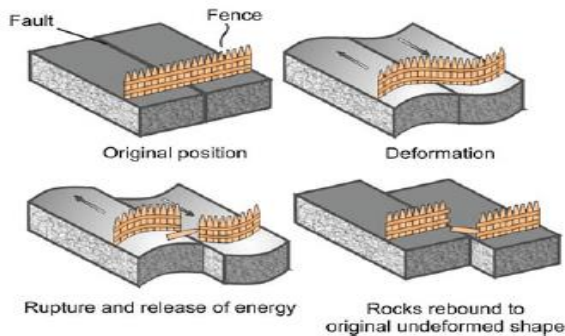
Gambar 2.8 Gelombang Rayleigh di bawah permukaan bumi

Gelombang permukaan bersifat dispersif yaitu kecepatan gelombangnya bergantung pada frekuensi gelombang. Semakin besar frekuensi maka semakin kecil kecepatannya dan penetrasi kedalamannya semakin dangkal dan sebaliknya. Gelombang permukaan lebih berbahaya jika dibandingkan dengan gelombang

badan karena amplitudonya yang lebih besar. Gelombang permukaan inilah yang bersifat merusak jika terjadi gempa bumi.

2.5 Mekanisme Pusat Gempa

Fenomena dinamika struktur inti bumi dan pergeseran lempeng telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Efek hasil aktivitas pergeseran lempeng tersebut mengakibatkan setidaknya gempa bumi pada area lempeng tektonik utama. Peneliti geologi Reid (1911) mengemukakan mekanisme gempa berdasarkan teori keelastikan sejak terjadinya peristiwa Gempa Bumi San Fransisco (1906). Teori keelastikan tersebut telah digunakan sebelum adanya teori tektonik lempeng dan teori tersebut yang menjelaskan adanya hubungan proses gempa bumi dengan patahan secara geologi. Patahan sebagai sumber utama getaran bumi yang dahsyat dideskripsikan pertama kali melalui teori keelastikan tersebut.



Gambar 2.9 Ilustrasi dari teori keelastikan lempeng. (Haluk, Sinan, 2014)

Orientasi slip dan patahan dalam proses gempa bumi dapat diidentifikasi dengan sistem mekanisme yang disebut *focal mechanism* atau mekanisme pusat gempa. Mekanisme tersebut dianalisa dengan pengukuran komputer untuk menentukan arah gerak *waveform* yang tepat pada setiap stasiun. Mekanisme fokus dihitung dari turunan pola gerakan pertama jalaran *waveform*

sebagai model bentuk gelombang. Perbedaan pola gerakan pertama tersebut disebabkan posisi masing-masing stasiun terhadap pusat gempa.

Mekanisme fokus gempa tersebut dihubungkan dengan karakteristik pola *shear faults* yang ada pada lempeng pusat gempa tersebut. *Shear faults* atau sesar merupakan retakan yang terjadi ketika fenomena gempa bumi terjadi dan ketika sedang atau setelah *displacement* terjadi. Banyak model sesar dengan karakteristik pergerakannya, sesar mendatar (*strike slip fault*) dan sesar tidak mendatar (*dip slip*). Sesar mendatar merupakan sesar dengan arah gerak blok sesar yang horizontal. Berikut adalah dua macam sesar mendatar:

1. *Right Lateral* adalah sesar yang bergerak mendatar searah jarum jam.
2. *Left Lateral* adalah sesar dengan arah gerak mendatar berlawanan arah jarum jam.

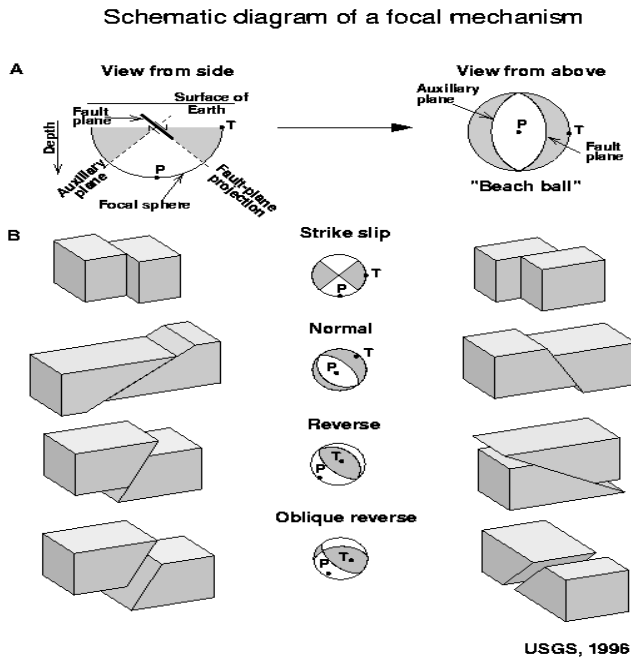
Sesar tidak mendatar merupakan sesar dengan arah gerak blok secara vertikal atau miring. Macam-macam jenis sesar tersebut adalah:

1. *Normal Fault* atau sesar turun adalah sesar dengan bidang kemiringan yang besar. Posisi *hanging wall* relatif turun terhadap *foot wall*.
2. *Reverse Fault* atau sesar naik adalah sesar dengan posisi *hanging wall* yang relatif naik terhadap *foot wall*.
3. *Oblique Fault* adalah sesar yang mempunyai gerak secara diagonal karena gabungan dari sesar horisontal dan vertikal.

Macam-macam sesar yang ada didapatkan dengan analisa karakteristik dari parameter sesar. Parameter sesar tersebut antara lain:

1. *Dip* (δ)
Dip merupakan parameter sesar berupa sudut kemiringan *fault*. Sudut yang diukur permukaan bumi normal dengan bidang sesarnya. *Dip* mempunyai karakteristik sudut dari 0° hingga 90° .
2. *Strike* (ϕ)
Strike merupakan parameter sesar dengan sudut orientasi *fault*. *Strike* diukur sudutnya searah jarum jam dari Utara. *Strike* memiliki sudut dari 0° hingga 360° .
3. *Slip*
Arah gerakan *fault* diidentifikasi dengan parameter *Slip*. *Slip* mempunyai dua karakteristik yang dapat memberi informasi jauh batuan yang bergerak dan arah gerak batuan tersebut.

Pada analisa mekanisme tersebut, karakteristik gempa juga digambarkan dalam bentuk *beachball symbol*. Symbol *beachball* merupakan sebuah proyeksi atau gambaran dari bidang horisontal pada lingkup area yang mengelilingi fokus gempa.



Gambar 2.10 Skema diagram dari mekanisme fokus gempa. (A) Pola *beachball* terhadap proyeksi bidang sesar dilihat dari samping. (B) Pola *beachball* dilihat dari atas. (USGS)

2.6 Momen Tensor

Gempa bumi disebabkan oleh adanya gerakan sesar di bawah permukaan bumi dengan karakteristik tertentu. Mengetahui gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempa dapat di analisa berdasarkan momen tensor gempa bumi yang dapat menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi. Istilah momen tensor pertama kali dicetuskan oleh Gilbert (1970) yang dikaitkan dengan penurunan *Stress* $\Delta\sigma$, ($\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma_1$) yang terletak di sumber gempa. Menurut Bachus and Mulcahy (1976), momen tensor

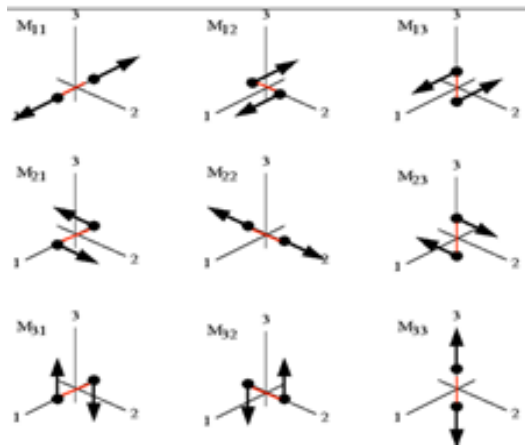
menyatakan bagian dari perubahan Stress internal yang menyebabkan deformasi non-elastik pada sumber, yaitu proses patahan (*Fracture Process*). Sumber yang non-elastik oleh stress internal dapat dinyatakan dalam bentuk momen tensor seismic. Momen tensor seismic dapat menyatakan sebuah sumber titik atau sumber luas yang diekspresikan sebagai integral volume sumber tertentu atau permukaan sumber dari sebuah densitas volume momen tensor atau densitas permukaan (Udias et al., 2014)

$$M_{ij} = \int v_0 m_{ij} dV = m'_{ij} dS \quad (2.3)$$

Momen tensor seismic selalu bersifat simetris. Momen tensor dapat dideskripsikan sebagai pasangan ganda (*Double Couple*) yang memiliki solusi sembilan komponen momen tensor. Momen tensor menggambarkan kekuatan dari kopel gaya gempa dalam bentuk matriks 3x3 sebagai berikut:

$$M_{ij} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{xy} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{xz} & M_{yz} & M_{zz} \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Elemen diagonal pada matriks diatas menyatakan dipol vektor linier, sedangkan elemen luar diagonal menyatakan pasangan gaya berlawanan (momen). Kesembilan komponen momen tensor tersebut dinyatakan dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 2.11 sistem pasangan komponen momen tensor dalam koordinat kartesian

Momen magnitudo yang pernah dilakukan oleh Mega (2009) adalah menggunakan sinyal gelombang P *broadband*

2.7 ISOLA GUI

Program ISOLA-GUI merupakan program Fortran yang menggunakan *tool* GUI Matlab yang digunakan untuk mempermudah perhitungan beberapa parameter dengan cepat, diantaranya persiapan dan perhitungan fungsi *Green* dan proses inversi serta hasil dalam bentuk gambar grafis dari *focal mechanism*. Program ISOLA berdasarkan pada representasi *single point – source* dan metode iterasi dekonvolusi seperti yang digunakan oleh Kikuchi dan Kanamori (1991) untuk data gempa teleseismik. Dan untuk menghitung fungsi *Green* menggunakan metode *discrete wavenumber* oleh Bouchon (2003). Metode ini baik digunakan untuk gempa lokal dan regional. Inversi yang

digunakan dalam program ini adalah inversi linier dengan d merupakan data dan m adalah parameter yang dicari.

$$d = G m \quad (2.5)$$

yang dapat diselesaikan dengan metode *least-square*

$$m = [G^T G]^{-1} G^T d \quad (2.6)$$

ISOLA-GUI digunakan untuk menjelaskan *focal mechanism* dari momen tensor gempa. Dari proses inversi dapat diketahui besar nilai eigen dan vektor eigennya. Vektor eigen memberikan nilai *strike*, *dip*, dan *rake* (*slip*). Nilai eigen memberikan besar momen skal M_0 . Untuk mendapatkan hasil yang bagus, maka dilakukan *fitting* kurva displacement untuk data sintetis dengan data lapangan. Dimisalkan, d adalah data lapangan dan s adalah data sintetis. Kecocokan (fit) diantara kedua data diukur dengan *variance reduction* (*varred*) dengan persamaan,

$$Varred = 1 - \frac{|d-s|}{d^2} \quad (2.7)$$

Nilai 1 menunjukkan kurva data sintetis berimpit dengan kurva data observasi, apabila kurang dari satu, maka terjadi perbedaan pada kurvanya sehingga akan menghasilkan ketidakcocokan perhitungan antara besar *even* yang ada dengan hasil pengolahan. Ketidakcocokan ini dipengaruhi oleh penentuan jumlah *subeven* yang akan menghasilkan residual data yang berpengaruh pada nilai *varred* (Sokos dan Zahrandik, 2008). Selain, jumlah *subeven*, proses *filtering* berpengaruh pada periode yang akan digunakan oleh program ISOLA-GUI dari data seismogram dalam proses perhitungan inversi.

Proses pada pengolahan data dalam *software* diantaranya dilakukan *seismic source definition* yaitu proses pengasumsian bahwa hanya terdapat satu sumber lokasi *event* gempa pada

kedalaman tertentu pada hiposenter. Dilakukan dengan memasukkan nilai *Starting Depth*, *Depth Step*, dan *No. of sources*, hal ini dilakukan untuk mencari sumber yang optimum dan sesuai dengan data *real waveform* dan sintetis dalam perkiraan *centroid*. Proses selanjutnya adalah komputasi fungsi *Green* yaitu proses inversi dengan fungsi *Green* melalui *command window*. Inversi dilakukan untuk mendapatkan hasil kurva *displacement* data *waveform* dengan data sintetis dan menghasilkan nilai momen tensor berdasarkan analisis *waveform*. Hasil dari tahap ini adalah nilai variasi reduksi yang digunakan sebagai acuan dalam keakuratan hasil pengolahan data. Hasil bagus pada *fitting* kurva didapatkan dengan melakukan pengulangan penentuan nilai *filter* hingga nilai *varred* mendekati 1.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah data gempa wilayah Sumatera Barat yang di unduh dari *webdc.eu*. Data berupa *event* gempa bumi dan stasiun *geophone* yang tersebar di wilayah Sumatera Barat, pada tahun 2014-2017. Gempa bumi berkisar pada *magnitude* lebih dari 4.8 SR. Setelah memilih area yang akan diunduh, data yang muncul terdapat 24 *event* gempa bumi dan 34 stasiun *geophone*. Masing-masing data mempunyai keternagna detail anta lain: tanggal dan waktu terjadinya gempa (*origine time*), letak koordinat (*latitude dan longitude*), besar *magnitude* dan kedalaman (*depth*). Selain data gempa, stasiun *geophone* yang merekam kejadian dapat diunduh pada setiap *event* gempa, model bumi Sumatera Barat, Program Matlab 2009, program ISOLA-GUI, program hc-plot.

3.2 Penentuan Lokasi Penelitian

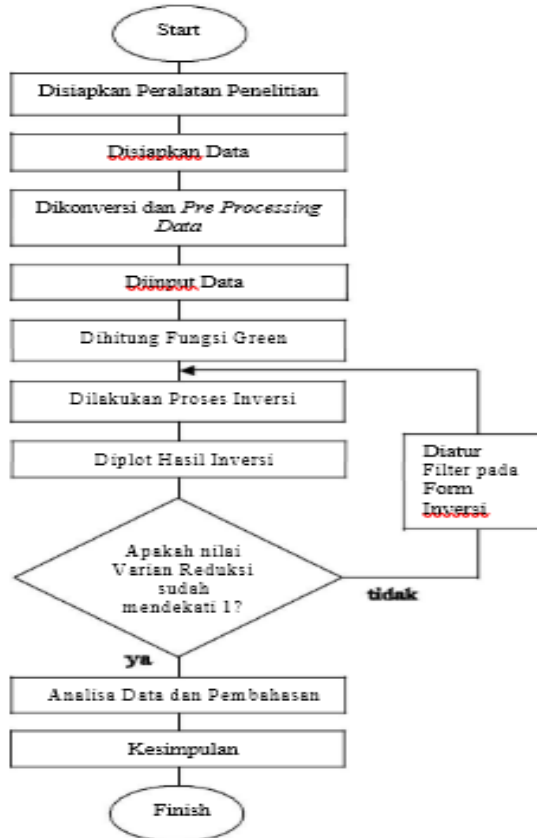
Lokasi yang digunakan pada penelitian ini berada pada wilayah Sumatera Barat yang terletak pada garis 0°54' lintang utara dan 3°30' lintang selatan dan 98°36' sampai 101°53' bujur timur.(www.humanitarianresponse.info)



Gambar 3.1 Peta Provinsi Sumatera Barat(www.bpkp.go.id)

3.3 Diagram Alir Penelitian

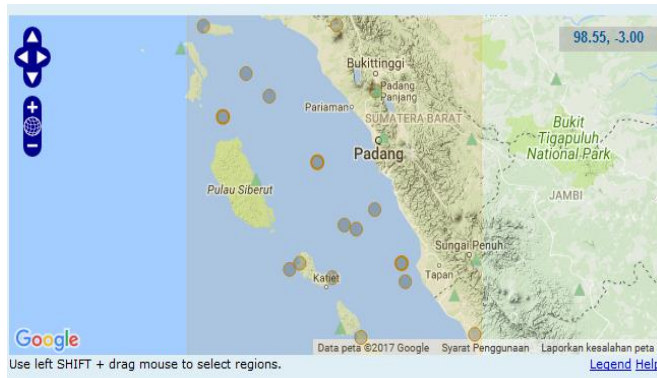
Penelitian ini dilakukan berdasarkan diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

3.4 Pengambilan Data

Data gempa yang terjadi pada Sumatera Barat didapatkan dari website wwbdc.eu. Data yang digunakan adalah data event gempa yang terjadi di wilayah Sumatera Barat pada tahun 2014-2017 dengan besar magnitudo lebih dari sama dengan 4.8 SR



Gambar 3.3 Pengambilan data dari *website www.webdc.eu*

3.5 Proses Pengolahan Data

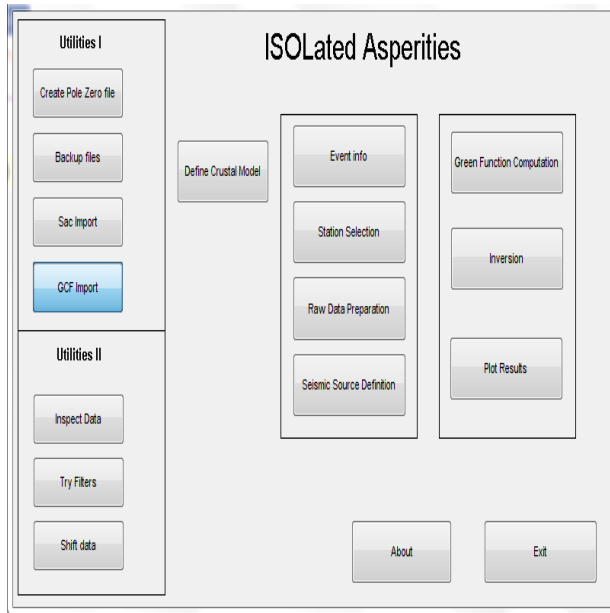
Adapun langkah-langkah proses pengolahan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.5.1 Pre-Processing Data

Untuk proses data yang dapat diolah pada program ISOLA-GUI yang dapat dijalankan oleh Matlab maka perlu dilakukan *extracting* data, supaya dapat diolah dalam program berikutnya yaitu dilakukan dengan bantuan *software* JrdSeed. Dengan satu-persatu data *event* gempa dilakukan pengekstrakan, *extracting* merupakan proses pengubahan data dalam bentuk SEED menjadi SAC. SAC memiliki tiga komponen yaitu komponen *horizontal* (BHN dan BHE) serta komponen *vertikal* (BHZ) proses tersebut bertujuan agar data dapat dibaca oleh software ISOLA-GUI.

3.5.2 Pengolahan Data dengan ISOLA

Pengolahan data dengan menggunakan ISOLA bertujuan untuk mengetahui momen tensor dari data gempa, menentukan jenis sesar serta parameter gempa yakni *strike*, *dip* dan *rake*. Untuk menjalankan program ISOLA dilakukan dengan memanggil Matlab. Adapun tampilan program ISOLA pada berikut ini.



Gambar 3.4 Tampilan awal program ISOLA-GUI

Didalam program ISOLA ada beberapa tahapan proses yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan Model Bumi Yang Tepat

Pada tahap ini dilakukan pendefinisian model bumi (*Crustal model*) lokasi penelitian yang terdiri dari kedalaman, kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S, densitas, QP dan Qs. pada penelitian wilayah Sumatera Barat model bumi yang digunakan adalah model bumi Haslinger Santosa (H-S). Tahapan ini memegang peran penting sebagai langkah awal karena jika pendefinisian *crustal model* kurang tepat akan berpengaruh pada proses selanjutnya. Oleh karena itu pastikan jika *crustal model* yang digunakan benar.

Crustal model definition

Crustal model SUMATERA BARAT H-S

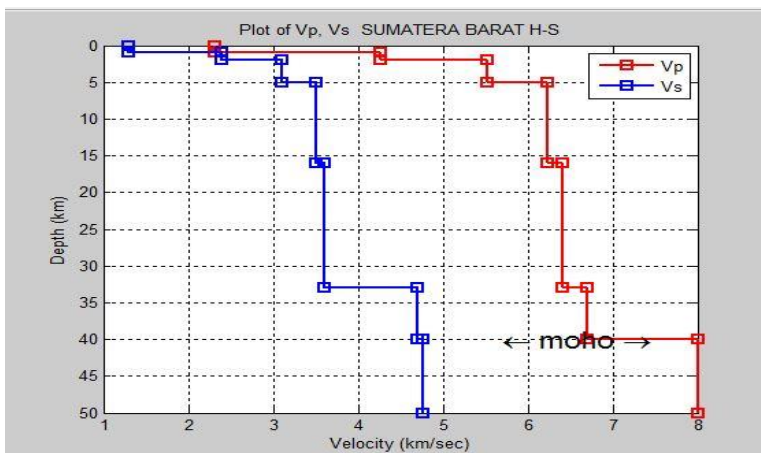
	Depth (km)	Vp (km/sec)	Vs (km/sec)	Density (g/cm ³)	Op	Os
1.	0.0	2.31	1.300	2.500	300	150
2.	1.0	4.27	2.400	2.800	300	150
3.	2.0	5.52	3.100	3.000	300	150
4.	5.0	6.23	3.600	3.300	300	150
5.	16.0	6.41	3.600	3.400	300	150
6.	33.0	6.70	4.700	3.400	300	150
7.	40.0	8.00	4.700	3.500	1000	500
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						
14.						
15.						

☐ Calculate Density

☐ Use Vp/Vs

1.78

Gambar 3.5 Tampilan model bumi Sumatera Barat



Gambar 3.6 Tampilan hasil plot model bumi Sumatera Barat

2. *Event info*

Pada tahap ini mendefinisikan mengenai gempa yang terdiri dari *latitude*, *longitude*, *depth*, *magnitude*, *origin time* dan *start* kemudian update.

Event Info

Lat (Deg,Min)

38.0050.00

Lat (Decimal Degrees)

-1.16

Depth (km)

46

DDMM-> DDEG

Lon (Deg,Min)

21.0050.00

Lon (Decimal Degrees)

99.76

Comments

Magnitude

6.3

Date

20170831

Location agency

WEBDC

Event Origin Time

Hour

17

Min

6

Seconds

56

Update

Exit

Data start time

Hour

17

Min

6

Seconds

0

Data Options

Time Length (sec)

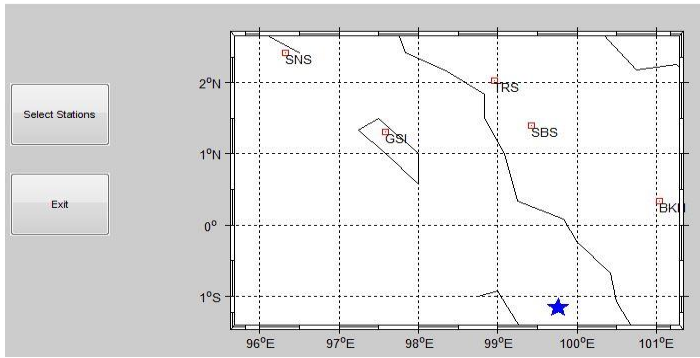
245.76
397.03
409.6
819.2
1638.4

This is the part of data that will be used
for the inversion starting at origin time

Gambar 3.7 Tampilan penentuan *event info*

3. *Station Selection*

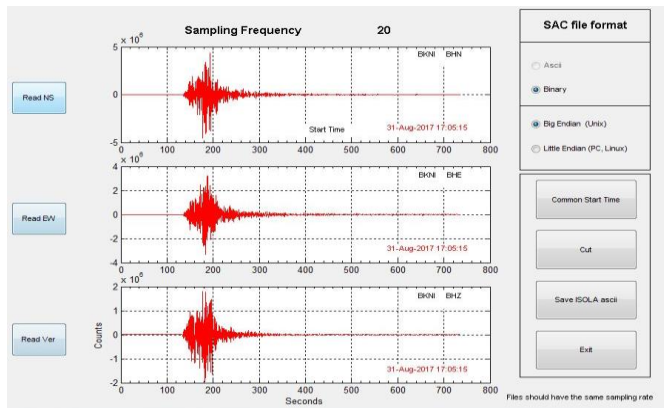
Pada tahap ini ditentukan atau dipilih stasiun yang ingin digunakan dalam perhiyungan. Untuk program ISOLA minimal digunakan 3 stasiun untuk keperluan keakuratan hasil yang didapat.



Gambar 3.8 Tampilan pemilihan stasiun perekam gempa

4. SAC Import

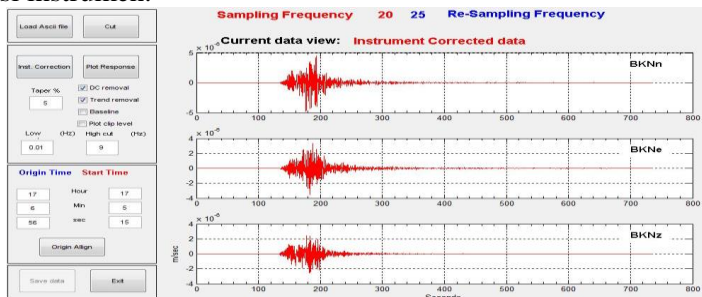
Pada tahap SAC import data gempa dari stasiun yang sudah dipilih diinput ke dalam program ISOLA GUI, data berupa gelombang seismik. Gelombang yang dibaca dipilih menjadi tiga bagian yaitu *North-South (N)*, *East-West (E)* dan *Vertical (Z)*. Kemudian *disave* dalam bentuk data ASCII dalam format *.dat*.



Gambar 3.9 Tampilan *import* data SAC

5. Raw Data Preparation

Pada tahap ini dilakukan persiapan data gempa berupa ASCII dalam format *.dat* dimana pada proses ini dilakukan pengolahan yang melibatkan seismogram yang melakukan koreksi instrumen.



Gambar 3.10 Tampilan *raw data preparation*

6. *Seismic Source Definition*

Pada tahap ini berisi data kedalaman *event* gempa yang berupa *Starting Depth* dan *No Of Source* diisi kedalaman yang mencakup nilai kedalaman episenter, pertama mempunyai kedalaman 46 km, maka nilai tersebut dapat di perkirakan 10-30km. *Depth step* merupakan spasi tinjauan dari range dasar kedalaman hingga permukaan.

Trial source positions

Sources below epicenter

Starting depth (km)
29

Depth step (km)
1

No of Sources (< 51)
17

Hint: If you want to prepare trial sources under the epicenter fill the proper values and press the button at the top of this box. Check the manual for details

Sources on a line or plane

Hint: If you want to prepare trial sources on a line or plane press the above button.

One Source at Hypocenter

Lat	Lon	Depth
-1.16	99.76	46

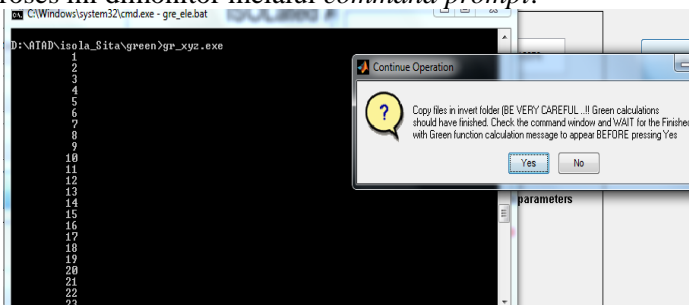
Hint: Invert for just one source at hypocenter

Exit

Gambar 3.11 Tampilan penentuan lokasi sumber seismik

7. *Green Function Computation*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan fungsi Green untuk memperoleh besar momen tensor dan parameter sumber gempa lain. Proses ini dimonitor melalui *command prompt*.



Gambar 3.12 Tampilan perhitungan fungsi green

8. Inversion

Langkah selanjutnya setelah dilakukan perhitungan fungsi green ialah tahap inversi. Proses inversi ini dilakukan untuk mendapatkan hasil mengenai kurva *displacement* antara data sintetik, dari model yang ada dengan data hasil observasi. Pada tahap ini dilakukan pemilihan frekuensi filter yang disesuaikan dengan filter pada lokasi penelitian pada kolom f1, f2, f3, f4. Untuk mendapatkan hasil yang bagus maka hasil pencocokkan data observasi dengan data sintetik yang saling tumpang tindih.

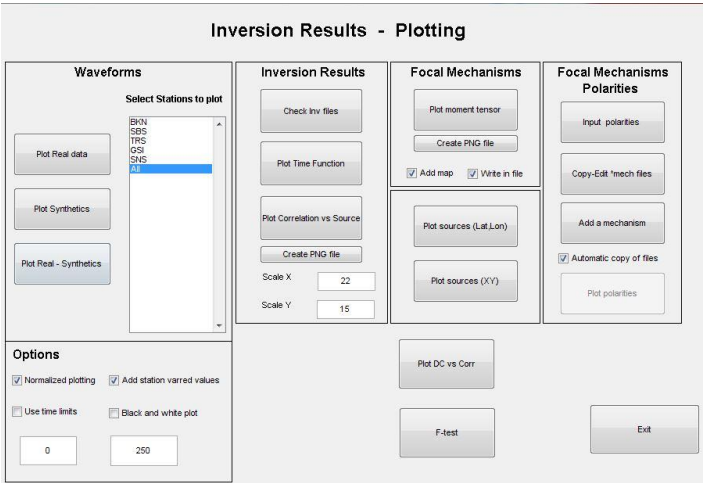
The screenshot shows the 'Invert' software interface with the following sections:

- Info:** Time Length: 327.60, No of Sources: 17, No of Stations: 5, Min Time shifts (sec): -100, Max Time shifts (sec): 100.
- Filter (Hz):** filter (f1,f2,f3,f4); flat band-pass between f2, f3 cosine tapered between f1, f2 and between f3, f4. Values: f1: 0.005, f2: 0.05, f3: 0.05, f4: 0.055.
- Type of Inversion:** Full MT (selected), Strike: 0, Dip: 0, Rate: 0. Other options: Deviatoric MT, DC constrained, Fixed mechanism.
- Time Search (sec):** (dt) Start: -4, End: 4, Time Step: 0.2. Trial Time shifts: -100, 5, 100.
- Number of Subevents:** 1.
- Plotting Options:** Plot Correlation diagram, Convert to PNG, Use Source Number (selected), Use Distance-Depth, Plot DC% contours, Draw Contours, Use fixed interval, GMT Palette, Invert Palette.
- Results for Single source:** Source Number: 1, Time limits: 1, Source limits: 17.
- Buttons:** Compute Weights, Reset Weights, Deselect Stations, Run, Exit.

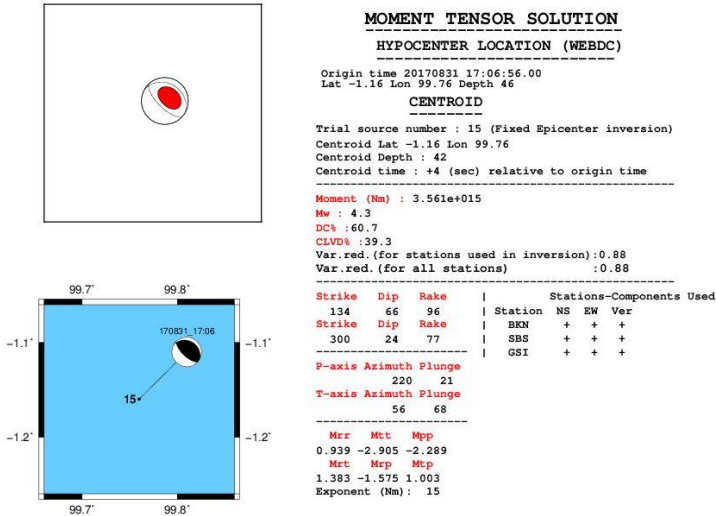
Gambar 3.13 Tampilan penentuan proses inversi

9. Plot Result

Setelah dilakukan inversi, maka didapatkan hasil mengenai momen tensor dan *focal mechanism*. Untuk mengetahui kesesuaian hasil dengan kondisi sebenarnya dapat dilihat dari nilai *var reduction* $>0,5$ maka dapat dikatakan hasil yang dapat sesuai karena memiliki ketelitian yang besar yakni $>50\%$. Berikut merupakan hasil solusi CMT dapat dilihat pada gambar 3.15

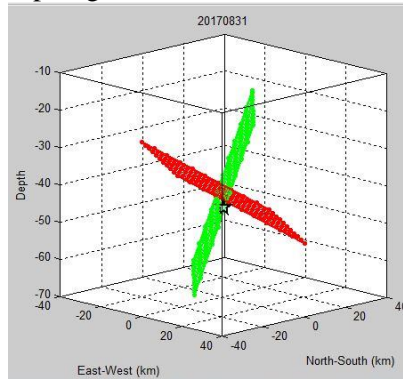


Gambar 3.14 Tampilan plotting hasil inversi



3.15 Hasil solusi CMT (Centroid Moment Tensor) pada gempa

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan solusi momen tensor yaitu penggambaran bidang patahan dan *auxiliary plane* pada suatu *event* gempa yang terjadi dengan menggunakan program *hplot* seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3. 16 Plotting bidang patahan dan *auxiliary plane* menggunakan program *hplot*

3.6 Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa hasil pengolahan data menggunakan ISOLA-GUI mengenai momen tensor dan focal mechanism gempa. Variasi bentuk dari beach ball menunjukkan bentuk geometri dari sesar yang terjadi. Bentuk geometri ini dipengaruhi oleh geologi regional wilayah Sumatera Barat dan letak hiposenternya. Untuk mempermudah menganalisa, digunakan program *hplot* untuk mengetahui bidang sesar dan auxiliary plane serta program GMT (*Generic Mapping Tools*) digunakan untuk memetakan lokasi episenter dari masing-masing event dengan bentuk beach ball sehingga diketahui dengan pasti bentuk geometri dari sesar yang ada serta hubungan antara masing masing beach ball dalam menggambarkan sesar yang terbentuk di wilayah Sumatera Barat. Dihitung besar *slip* dari masing-masing sesar.

3.7 Kesimpulan

Dari hasil analisa mengenai momen tensor dan focal mechanism yang terjadi di wilayah Sumatera Barat dapat disimpulkan mengenai pola bidang sesar tyang terjadi di wilayah Sumatera Barat pada tahun 2014-2017 serta besar *slip* dari sesar yang ada.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan proses analisa data dan hasil penelitian gempa bumi dengan metode mekanisme fokus yang terjadi di wilayah Sumatera Barat dengan kekuatan gempa ≥ 4.8 SR hingga ≤ 6.3 SR.

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan *event* yang terjadi di wilayah Sumatera Barat,

Tabel 4.1 data event yang terjadi di Sumatera Barat

Tanggal	Waktu	Lattitude	Longitue	Mag	Depth
31/08/2017	17:06:56	-1.16	99.76	6.3	46
16/08/2017	04:09:04	-2.28	99.92	5.1	24
25/05/2017	10:45:29	0.39	98.88	5	51
24/08/2016	13:48:48	-2.86	100.23	5.4	33
21/06/2016	14:10:24	0.17	99.97	5.1	26
16/01/2016	18:54:34	-0.52	99.24	4.8	64
25/10/2015	20:17:56	-0.3	98.99	5	40
03/03/2015	10:37:31	-0.72	98.74	6.2	30
04/08/2014	12:09:47	0.16	98.53	5	42

4.1.2 Hasil Perhitungan

4.1.2.a Hasil Momen Tensor

Dari hasil pengolahan menggunakan program ISOLA_GUI didapatkan besar momen tensor untuk masing-masing *event*, untuk Sumatera Barat sebagai berikut,

Tabel 4.2 Nilai momen tensor pada setiap *event* gempa untuk gempa Sumatera Barat

Event	M ₃₃	M ₁₁	M ₂₂	M ₃₁	M ₃₂	M ₁₂	exp
31/08/2017	0.939	-2.905	-2.289	1.383	-1.575	1.003	15
16/08/2017	-0.371	1.021	-1.036	0.767	-1.070	-0.813	13
25/05/2017	3.184	4.477	9.036	1.568	-2.361	-2.606	14

Event	M_{33}	M_{11}	M_{22}	M_{31}	M_{32}	M_{12}	exp
24/08/2016	-0.793	0.243	-2.453	-0.633	0.225	0.654	15
21/06/2016	0.054	-1.024	0.722	0.325	-0.471	0.252	14
16/01/2016	-1.578	0.850	-1.278	0.653	0.592	0.068	13
25/10/2015	2.745	-3.622	-1.256	1.589	0.496	1.813	12
03/03/2015	0.878	-0.550	-0.013	1.110	-0.954	0.438	15
04/08/2014	7.492	-6.787	-4.282	4.220	-0.238	1.080	12

Pada tabel 4.2 digunakan M_{33} , M_{11} , M_{22} , M_{31} , M_{32} , M_{12} adalah nilai tensor hasil pengolahan setiap event. Pada tanda negatif menunjukkan arah yang berlawanan. Nilai tersebut dipengaruhi oleh frekuensi filter yang digunakan dan kaitannya dengan besar *varred*. Pada tabel 4.2 didapatkan besar *varred* diatas 0.5 sampai 0.88, nilai tersebut dapat dikatakan baik karena menghasilkan kurva *fitting* yang berhimpit. Nilai momen tensor (M) tersebut mempunyai satuan Nm. Pada setiap event gempa yang terjadi tercatat momen tensor yang nilainya berbeda-beda. Besar nilai momen seismic tersebut merupakan hasil aktifitas dari area patahan atau pertengahan anatara dua lempeng yang mengalami slip. Hasil ini dipengaruhi oleh gaya yang dibutuhkan untuk meneruskan gelombang seismic setelah terjadi gempa. Nilai tersebut bergantung pada total energi seismic yang disebabkan oleh pergeseran atau pergerakan lempeng. Data yang didapatkan setelah nilai momen tensor adalah besar dari karakteristik bidang sesar, karakteristik tersebut terdiri dari dua bidang lempeng yaitu bidang patahan atau sesar dan bidang *auxiliary* sehingga kedua bidang tersebut didapatkan nilai *strike*, *dip* dan *rake*.

4.1.2.b Hasil *Focal Mechanism*

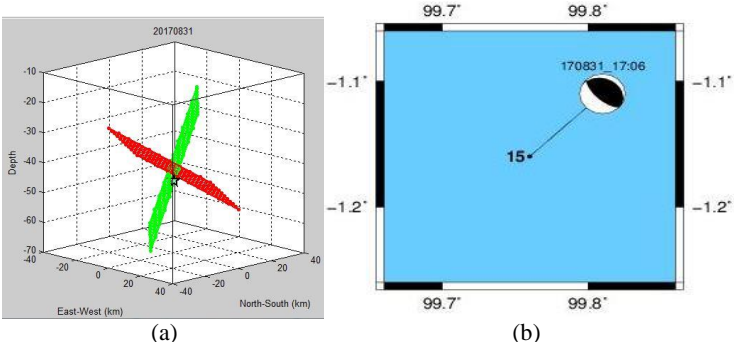
Dari hasil solusi inversi momen tensor akan memperoleh nilai *strike*, *dip* dan *rake* yang akan digunakan untuk menganalisa bidang patahan gempa. Dimana momen tensor itu sendiri akan menghasilkan bidang patahan yang sebenarnya dan bidang patahan yang lain (*auxiliary plane*) atau bidang bantu yang saling tegak lurus. Solusi hasil inversi momen tensor yang berupa nilai

strik, *dip* dan *rake* yang telah diperoleh akan digunakan sebagai *input* *hcplot* untuk memperoleh gambaran arah bidang patahan. Adapun hasil solusi momen tensor yang didapatkan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 4.3 Bidang sesar dan *auxiliary plane* untuk masing-masing event gempa yang terjadi di Sumatera Barat

Event	Nodal Plane I			Nodal Plane II		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
31/08/2017_07:06:56	134	66	96	300	24	77
16/08/2017_04:09:04	64	44	-174	330	86	-48
25/05/2017_10:45:29	320	67	-109	181	30	-53
24/08/2016_13:48:48	304	83	24	211	66	172
21/06/2016_14:10:24	234	57	6	141	85	147
16/01/2016_18:54:34	297	67	-54	56	42	-144
25/10/2015_20:17:56	326	39	119	101	56	69
03/03/2015_10:37:31	129	75	96	286	16	68
04/08/2014_12:09:47	292	31	98	102	60	85

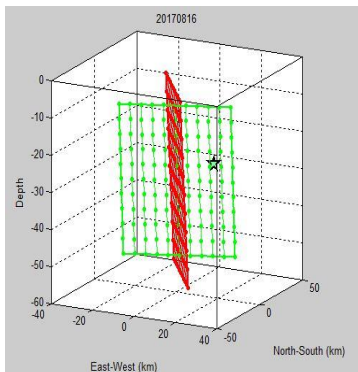
Event gempa yang pertama terjadi pada tanggal 31/08/2017 pukul 07:06:56. Hasil dari solusi momen tensor yang dihasilkan merupakan pola bidang sesar jenis *reverse fault*.



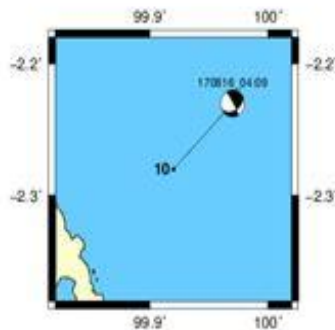
Gambar 4.1 (a) orientasi bidang patahan (hijau) (b) bentuk *beach ball* dari pola bidang sesar *reverse fault*

Gempa yang terjadi pada tanggal 31/08/2017 pada pukul 07:06:56 WIB menunjukkan pola bidang sesar yang terbentuk

adalah *reverse fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 134, *dip* = 66 dan *rake* = 96 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 300, *dip* = 24 dan *rake* = 77. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 2.11 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 4 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan *auxiliary plane*-nya berwarna merah. Untuk jarak antara titik *centroid*-nya dengan jarak hiposenter sebesar 4 km.



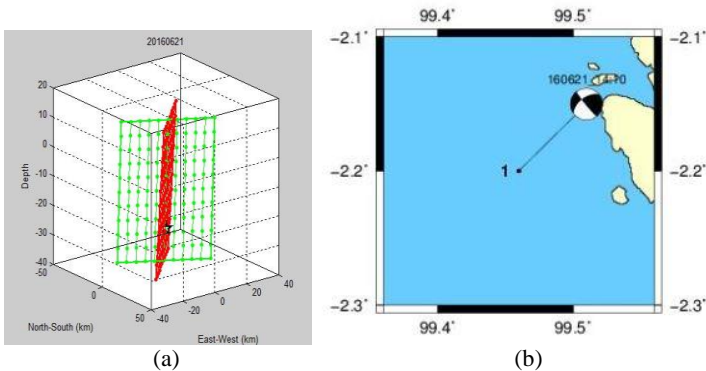
(a)



(b)

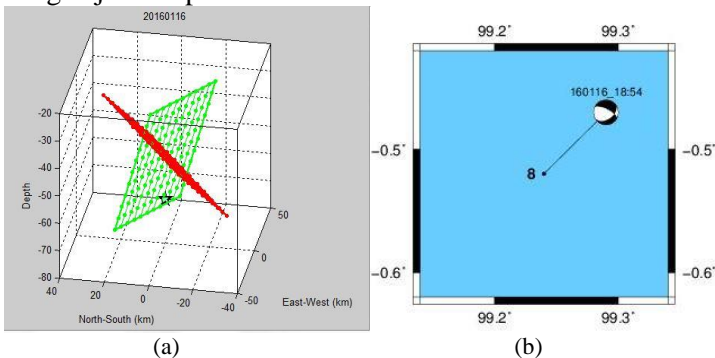
Gambar 4.2 (a) orientasi bidang patahan (merah) (b) bentuk *beach ball* dari pola bidang sesar *oblique reverse*

Gempa yang terjadi pada tanggal 16/08/2017 pada pukul 04:09:04 WIB menunjukkan pola bidang sesar yang terbentuk adalah *oblique reverse* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 64, *dip* = 44 dan *rake* = -174 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 330, *dip* = 86 dan *rake* = -44. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 4.40 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 1.07 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna merah dan *auxiliary plane*-nya berwarna hijau. Untuk jarak antara titik *centroid*-nya dengan jarak hiposenter sebesar 6 km.



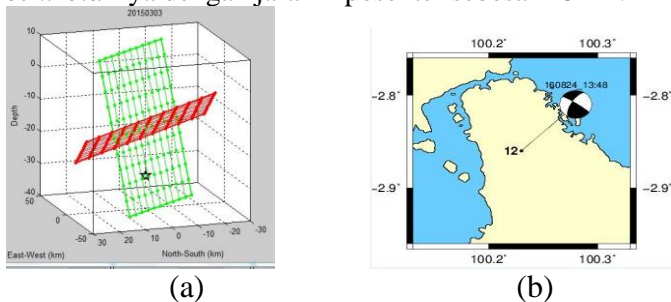
Gambar 4.3 (a) orientasi bidang patahan (merah) (b) bentuk *beach ball* dari pola bidang sesar *strike slip*

Gempa yang terjadi pada tanggal 21/06/2016 pada pukul 14:10:24 WIB menunjukkan pola bidang sesar yang terbentuk adalah *strike dip* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 234, *dip* = 57 dan *rake* = 6 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 141, *dip* = 85 dan *rake* = 147. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 7.14 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 2.34 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna merah dan *auxiliary plane*-nya berwarna hijau. Untuk jarak antara titik *centroid*-nya dengan jarak hiposenter sebesar 13 km.



Gambar 4.4 (a) orientasi bidang patahan (hijau) (b) bentuk *beach ball* dari pola bidang sesar *oblique reverse*

Gempa yang terjadi pada tanggal 16/01/2016 pada pukul 18:54:34 WIB menunjukkan pola bidang sesar yang terbentuk adalah *strike dip* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 297, *dip* = 67 dan *rake* = -54 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 56, *dip* = 42 dan *rake* = -144. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 6.26 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 11.91 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan *auxiliary plane*-nya berwarna merah. Untuk jarak antara titik *centroid*-nya dengan jarak hiposenter sebesar 16 km.



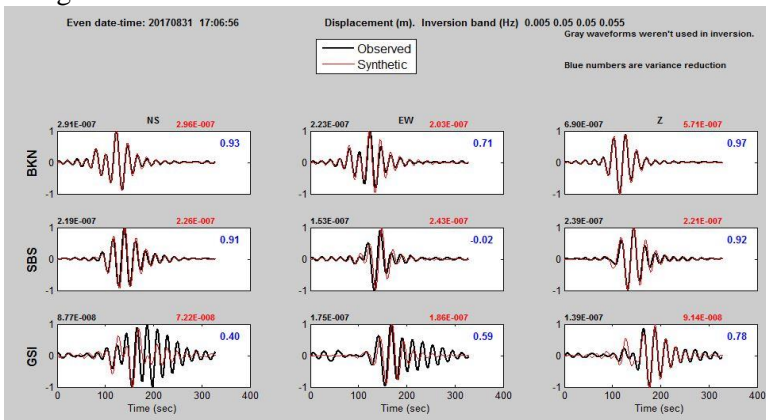
Gambar 4.5 (a) orientasi bidang patahan (hijau) (b) bentuk *beach ball* dari pola bidang sesar *strike slip*

Gempa yang terjadi pada tanggal 03/03/2015 pada pukul 10:37:31 WIB menunjukkan pola bidang sesar yang terbentuk adalah *strike dip* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 129, *dip* = 75 dan *rake* = 96 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 286, *dip* = 16 dan *rake* = 68. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 3.92 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 14.44 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan *auxiliary plane*-nya berwarna merah. Untuk jarak antara titik *centroid*-nya dengan jarak hiposenter sebesar 15 km.

4.2 Pembahasan

Telah dilakukan analisa mengenai gempa bumi Sumatera Barat dengan magnitudo 4.8 hingga 6.3 SR. Data gempa bumi yang digunakan ialah data dari tahun 2014 sampai 2017. Nilai

momen tensor yang diperoleh dari penelitian ini berasal dari hasil pengolahan data perhitungan fungsi green dan dilanjutkan inversi waveform tiga komponen (NS, EW, dan Z). Momen tensor digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi yang terjadi, solusi dari momen tensor terdapat 3 komponen atau double couple digunakan untuk mendapatkan parameter bidang patahan yang digambarkan dalam bentuk *beachball*. Sehingga dapat diketahui jenis sesar penyebab gempa bumi. Proses inversi menghasilkan kurva korelasi dari perhitungan tersebut dengan data yang terekam saat observasi untuk mendapatkan inversi yang baik didasarkan dengan hasil pencocokan data observasi dengan data sintetik yang saling tumpang tindih. Hasil kurva tersebut dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:

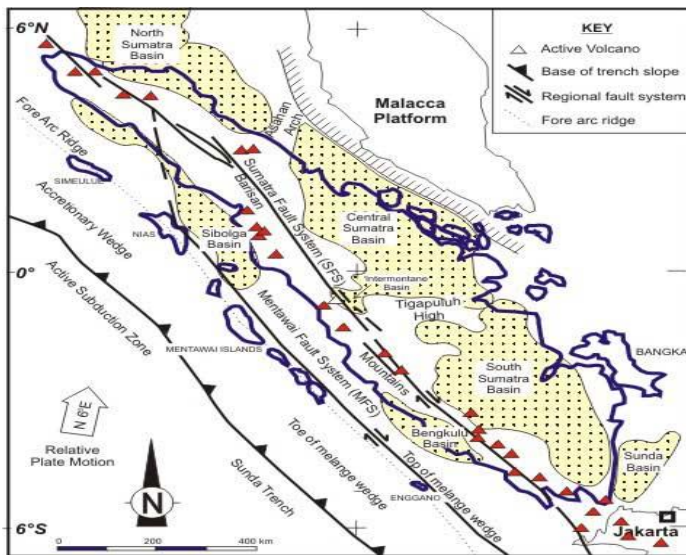


Gambar 4.6 kurva korelasi data *observed* dan *synthetic* untuk *event* gempa pada tanggal 31/08/2017 dengan *origine time* 17:06:56

Pada gambar 4.6 terdapat dua kurva yang berbeda yakni kurva yang berwarna hitam merupakan data observasi seismogram dan kurva yang berwarna merah merupakan data sintetik seismogram. Data sintetik berasal dari perhitungan fungsi green. Setelah dilakukan perhitungan fungsi Green, dilanjutkan dengan tahap inversi dimana pada tahap ini digunakan filter f_1, f_2, f_3, f_4 untuk mendapatkan hasil kurva perhitungan yang mendekati

observasi seismogram (real data). Filter inversi berupa nilai frekuensi yang dikorelasikan pada magnitude event gempa. Pada kurva diatas merupakan hasil korlasi event gempa yang terjadi pada tanggal 31/08/2017 dengan *origin time* 17:06:56 dan magnitude 6.3 SR. Filter yang digunakan pada inversi yaitu f_1 sebesar 0.005, f_2 sebesar 0.05, f_3 sebesar 0.05 dan f_4 sebesar 0.055. kemudian dari hasil inversi pada data tersebut didapatkan nilai reduksi varian (*variance reduction*) yang berwarna biru. Pada stasiun BKN didapatkan nilai *variance reduction* pada komponen N sebesar 0.93, komponen E sebesar 0.71 dan komponen Z sebesar 0.97. Pada stasiun SBS nilai *variance reduction* komponen N sebesar 0.91, komponen E sebesar -0.02 dan komponen Z sebesar 0.92. Terakhir stasiun GSI nilai pada komponen N sebesar 0.40, komponen E sebesar 0.59 dan komponen Z sebesar 0.78. Hasil nilai *variance reduction* yang berbeda-beda tersebut bergantung pada saat tahap *filtering* dan juga pada tahap Fungsi Green. *Variance reduction* ini mengakibatkan presisi tidaknya (kecocokan) korelasi antara garis kurva hitam (kurva *real data*) dan garis kurva merah (kurva perhitungan) (Sokos 2008). Semakin kecil nilai varian reduksinya maka tingkat kecocokannya juga semakin rendah. Apabila hal tersebut terjadi maka perlu dilakukan pengolahan data kembali dengan cara mengubah atau menghapus komponen stasiun yang menunjukkan respon kurang baik. Selanjutnya dilakukan perhitungan fungsi Green kembali atau mengubah filter pada tahap inversi hingga didapatkan hasil yang cukup baik. Event gempa pada gambar memperoleh nilai varian reduksi untuk tiap komponen stasiun yang berkisaran antara 0.4-0.97 yang ditunjukkan oleh angka dipojok kanana atas pada tiga komponen. Secara keseluruhan nilai varian reduksi yang didapat terbilang cukup baik untuk hasil *fitting* kurva. Akan tetapi nilai varian reduksi yang dijadikan sebagai acuan adalah nilai varian reduksi total yang merupakan akumulasi dari nilai varian reduksi tiap komponen. Dapat dilihat antara kurva observasi dan sintetis ialah cocok dan saling berhimpit. Nilai varian reduksi dipengaruhi oleh

proses *filtering* yang dilakukan pada tahap inversi. Inversi yang digunakan dalam program ISOLA merupakan *Deviatoric Moment Tensor Inversion* yang berarti untuk menghitung komponen dasar momen tensor dan menggunakan DC (*double couple*) dan CLDV (*Compensated Linier Vector Dipole*). Berikut merupakan solusi momen tensor yang dilakukan pada proses inversi. Menurut Stein and Wyession (2002), sifat elastik dan non-elastik dari medium yang dilewati oleh gelombang sumber gempa dapat mempengaruhi hasil *fitting* kurva dalam proses inversi.

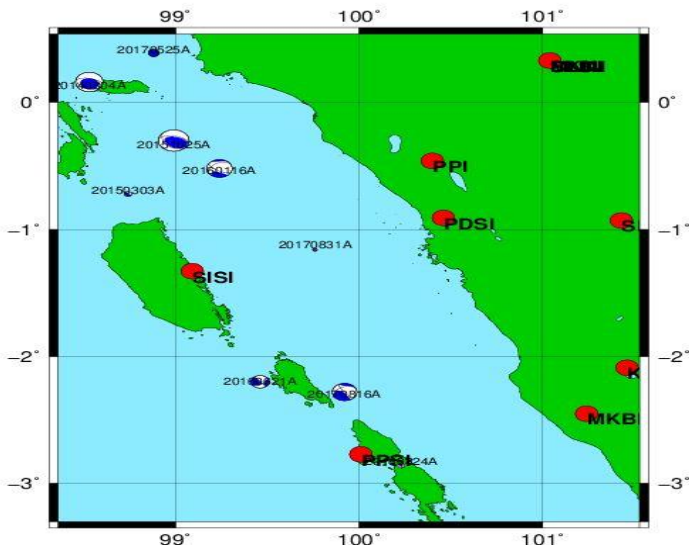


Gambar 4.7 Pola bidang sesar pada wilayah Sumatera.

Bentuk focal mechanism dari masing-masing event menunjukkan pola bidang sesar *reverse fault*, *dip slip*, *strike slip*, *normal fault*. Bentuk pola ini dipengaruhi oleh geologi regional Sumatera Barat terdapat tiga sistem sesar, SFZ (*Sumatra Fault Zone*) MFZ (*Mentawai Fault Zone*) dan zona subduksi. Kemudian pada hasil pengolahan lain terdapat indikasi adanya *strike slip* pada area subduksi aktif. *Strike slip* ditunjukkan dengan pola putih dan hitam yang bersilang pada muka

beachball. Peristiwa ini dapat terjadi karena pada event gempa ini masih berada dalam cakupan area *Mentawai Fault*. variasi pola yang demikian terjadi pada setiap penelitian seperti halnya Sieh & Natawijaya (2000) yang mengatakan bahwa pola sesar pada *Mentawai* mempunyai pola bidang sesar antara lain *dip slip*, *normal fault*, *strike* dan *reverse fault*. Fenomena seperti ini sangat dapat terjadi karena adanya perbedaan pemilihan filter pada proses perhitungan fungsi Green dan *inversion filtering*.

Pola bidang sesar yang terbentuk di daerah sekitar zona subduksi adalah *dip-slip* sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa untuk lokasi yang berada pada zona subduksi mempunyai pola bidang sesar *dip-slip* yang mempunyai pengaruh lebih besar dalam menimbulkan sumber gempa yang mempunyai magnitudo yang besar (Madlazim, 2010).



Gambar 4.8 korelasi pola bidang sesar antara hasil penelitian dengan referensi yang telah ada

Hasil pola bidang patahan yang direpresentasikan dengan *beachball* biru-putih dan pola bidang patahan yang telah diidentifikasi pada referensi didapatkan beberapa pola yang

berbeda. Pada wilayah Mentawai Fault, pola bidang sesar yang terbentuk meliputi pola *strike-slip* dan *oblique fault*. Namun sesuai dengan referensi yang telah ada., pola bidang sesar pada wilayah tersebut adalah *strike-slip*. Pola *oblique fault* yang didapatkan sevcara perhitungan, disebabkan karena wilayah Sumatera Barat merupakan alur *trench* perbatasan lempeng indo-Australia dengan lempeng Eurasia, *Trench* tersebut mengindikasikan adanya pola diagonal akibat tumbukan kedua lempeng secara konvergen. Selanjutnya, wilayah *Subduction Active Area* didapatkan pola bidang sesar *dip-slip* dan *strike-slip*. Akan tetapi, sesuai referensi yang telah ada sebelumnya terdapat pola bidang sesar *dip-slip*. Hal itu seiring dengan teori pada area subduksi aktif yang menunjukkan interaksi kedua lempeng berupa *dip-slip*. Ditemukan pola *strike-slip* pada penelitian ini, karena *event* gempa yang diidentifikasi masih tercakup pada area patahan Mentawai. Sehingga masih didapatkan kemungkinan untuk mempunyai pola *strike-slip*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar momen tensor pada tiap komponen dari 9 *event* gempa di Sumatera Barat pada tahun 2014-2017 diperoleh sebagai berikut,
 $M_{11} = 6.787 \times 10^{12}$ sampai 0.243×10^{15}
 $M_{22} = 4.282 \times 10^{12}$ sampai 0.013×10^{15}
 $M_{33} = 7.492 \times 10^{12}$ sampai 0.793×10^{15}
 $M_{31} = 4.220 \times 10^{12}$ sampai 0.633×10^{15}
 $M_{32} = 0.496 \times 10^{12}$ sampai 0.225×10^{15}
 $M_{12} = 0.068 \times 10^{12}$ sampai 0.438×10^{15}
2. Pola *focal mechanism* bidang sesar wilayah Sumatera Barat terdiri atas *reverse fault normal-slip (dip-slip & strike-slip)* pada area *Active Subduction*, dan *strike-slip* serta *oblique fault* pada area *Mentawai Fault*.

5.2 Saran

Mengingat gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang tidak diprediksi maka dari itu perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai karakteristik gempa bumi di tiap-tiap daerah untuk mengetahui resiko gempa bumi sedini mungkin kemudian diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai metode penentuan momen tensor dan pola bidang sesar dari *focal mechanism* yang berkaitan dengan parameter kevalidan data yang didapat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

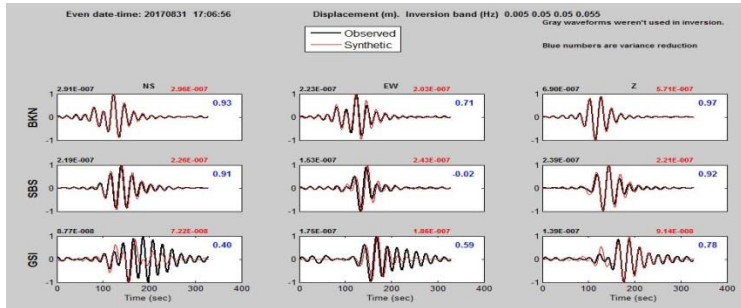
DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. Seismologi Edisi Pertama. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Bowler, S., 2003. Bumi yang Gelisah. Jakarta: Erlangga.
- C.V.R Murty. 2005. IITK-BMPTC Earthquake Tips. National Information Centre of Earthquake Engineering.
- Datta, T.K. 2010 Seismic Analysis of Structures. Indian Institute of Technology Delhi : India.
- Hasan, M. Mifta. 2014. *Analisa Pola Bidang Sesar pada Zona Subduksi di Wilayah Sumatera Barat dari Event Gempa pada tahun 2013*. Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
- Madlazim, Santosa, B. J., 2010. *Seismic moment tensor of padang 20090930 and Jambi 20091001 events in jambi using there Component Local Waveforms: Identification of the Active Fault Plane*. Indonesia jurnal of physics Vol 21 no 4.
- Madlazim. 2011. *Estimasi CMT, Bidang Sesar dan Durasi Ruputure Gempa Bumi Di Sumatera Serta Kemungkinan Peringatan Dini Tsunami*.
- Mardrinovella, I., Widiyantoro, S., Irwan, M., 2011. *Relokasi Hiposenter Gempa Padang 30 September 2009 Menggunakan Metode Double Difference*. JTM Vol.XVIII No 1.
- Masykur, M. R., 2011. *Analisis Inversi Waveform Tiga Komponen Untuk Menentukan Pola Bidang Sesar Gempa Bumi di Daerah Jawa Barat*. Surabaya. Tesis Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
- Mukti, M. M., Singh, S. C., Deighton, I., Hananto, N. D., Moeremans, R., Permana, H., 2012. *Structural evolution of backthrusting in the Mentawai Fault Zone, offshore Sumatran forearc*. Geochem. Geophy. Geosyst.,13, Q12006.

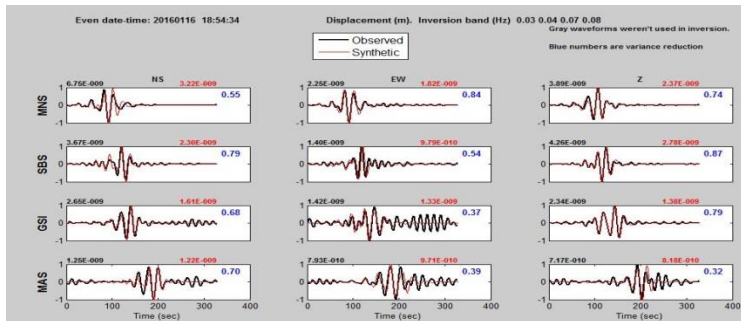
- Noor, D., 2006. Geologi Lingkungan, 1st ed. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Shearer, PM. 1999. Introduction to Seismology. Cambridge University Press : New York.
- Sieh, K. dan Natawidjaja, D. 2000. *Neotectonics of the Sumatran Fault*, Indonesia. Journal of Geophysical Research, vol. 105, No. B12, pages 28, 295-28,326.
- Sokos, E. N., Zahrandik, J., 2008. *ISOLA a Fortran code and a Matlab Gui to perform multiple-point source inversion of seismic data*. Computers and Geoscience 34. 987-977.
- Sokos, E. N. dan Zahrandik. 2009. *A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes*. User Guide.
- Stein, Seth and Wysession, M. 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structures*. Blackwell Publishing Ltd : USA.
- Suardi, I. 2006. *Penentuan Parameter dan Sumber Gempa Bumi Dengan Cepat Yang Terjadi Di Daerah Indonesia*. Kursus Seismologi di BMKG 2006-2007
- <http://bkpmp.sumbarprov.go.id/statistik-2/kondisi-geologi> *Kondisi Geologi*. Diakses pada tanggal 30 setember pada pukul 1:28 WIB

LAMPIRAN 1

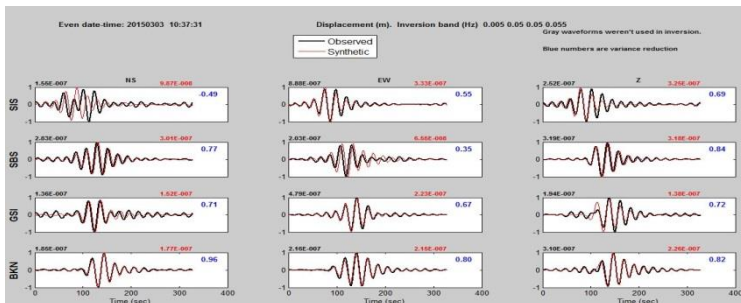
KURVA KORELASI DATA OBSERVASI (SEISMOGRAM) DAN PERHITUNGAN FUNGSI GREEN



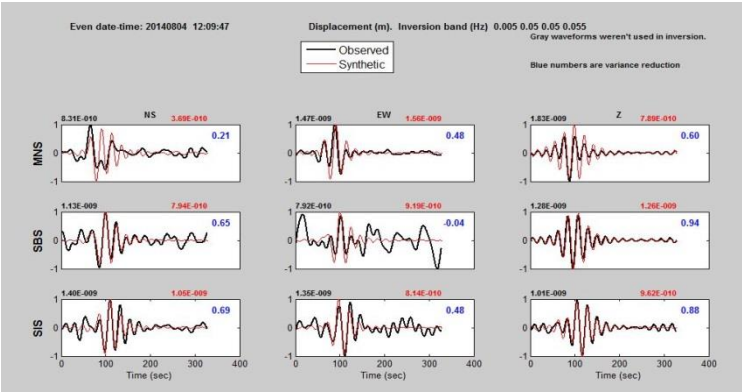
Gambar 1 Kurva event event 31-08-2017 origin time 17:06:56.



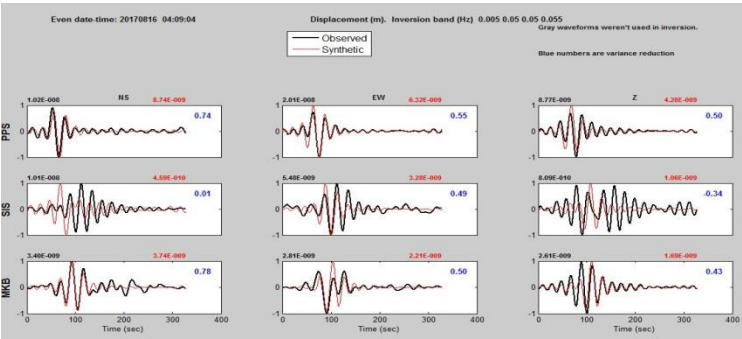
Gambar 2 Kurva event 16-01-2016 origin time 18:54:34.



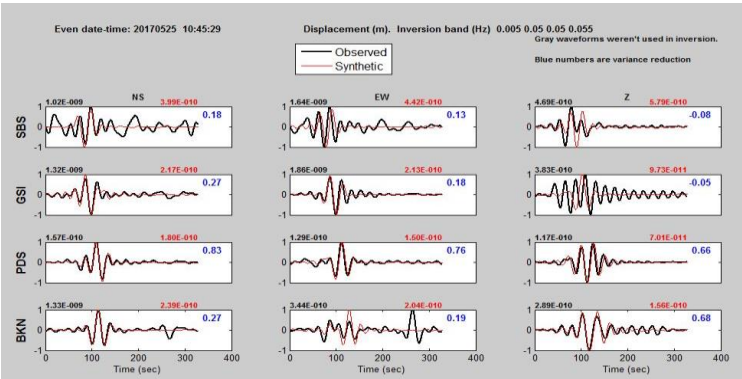
.Gambar 3 Kurva event 03-03-2015 origin time 10:37:31.



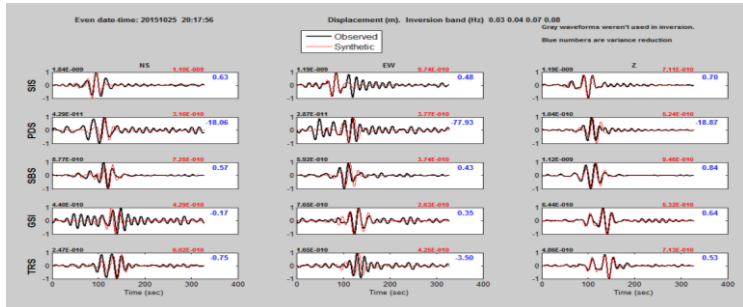
Gambar 4 Kurva event 04-08-2014 origin time 12:09:47.



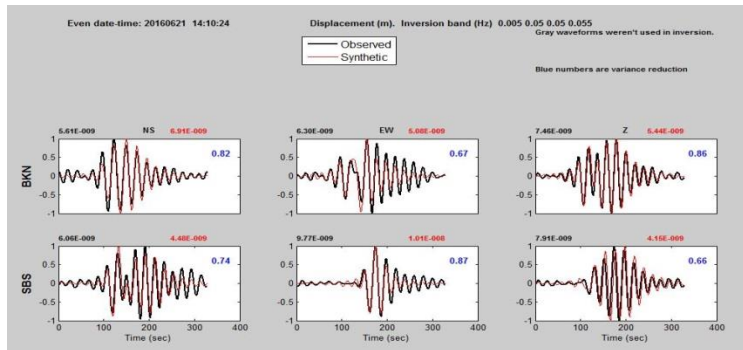
Gambar 5 Kurva event 16-08-2017 origin time 04:09:04.



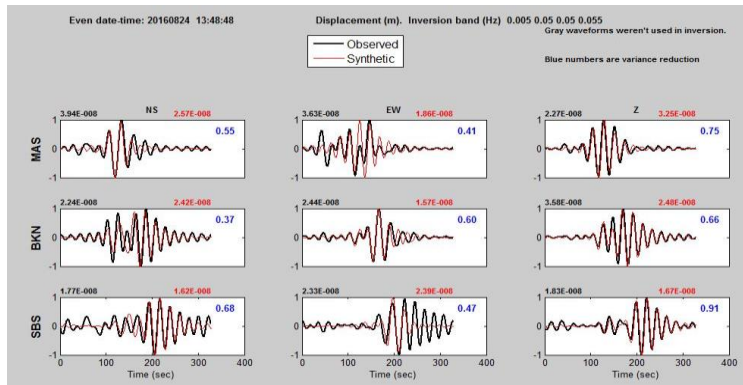
Gambar 6 Kurva event 25-05-2017 origin time 10:45:29..



Gambar 7 Kurva event 25-10-2015 origin time 20:17:56.



Gambar 8 Kurva event 21-06-2016 origin time 14:10:24..

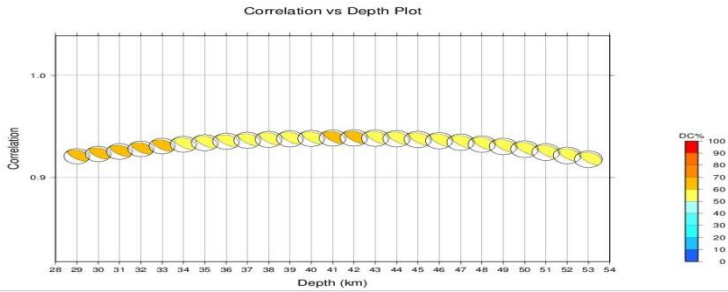


Gambar 9 Kurva event 24-08-2016 origin time 13:48:48.

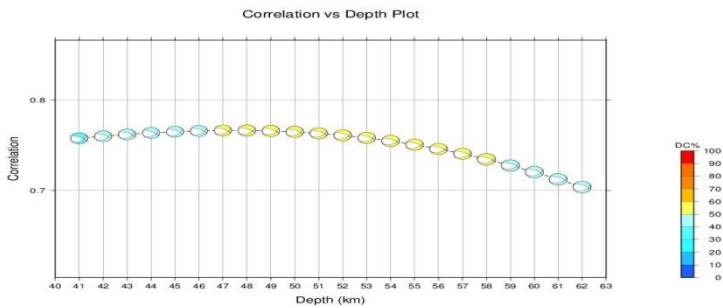
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2

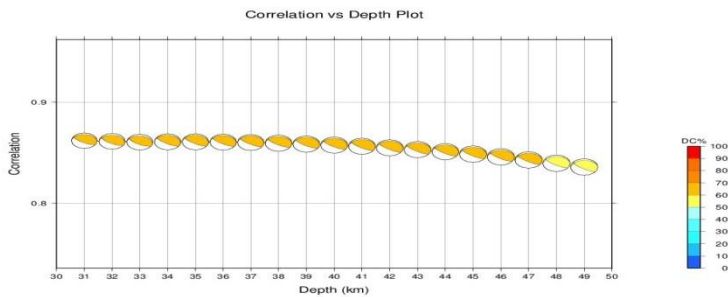
KURVA KORELASI POLA BEACHBALL DAN KEDALAMAN



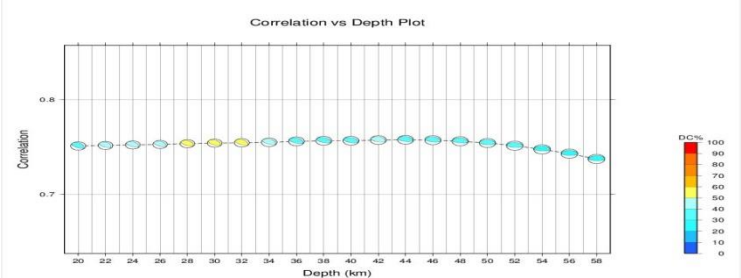
Gambar 1 Kurva *event 31-08-2017 origin time 17:06:56.*



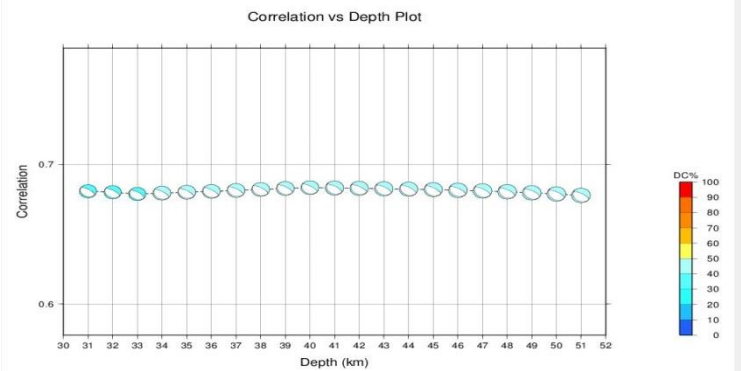
Gambar 2 Kurva *event 16-01-2016 origin time 18:54:34.*



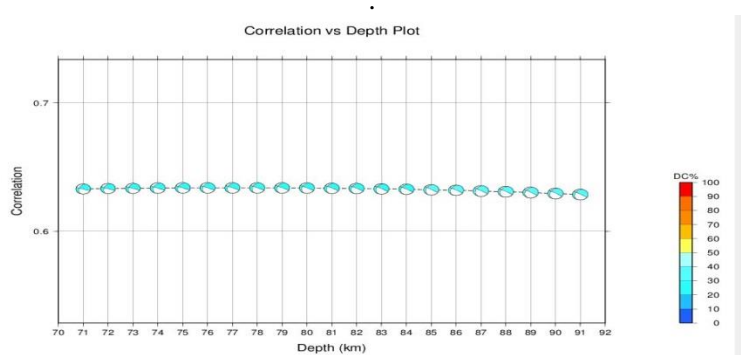
Gambar 3 Kurva *event 03-03-2015 origin time 10:37:31.*



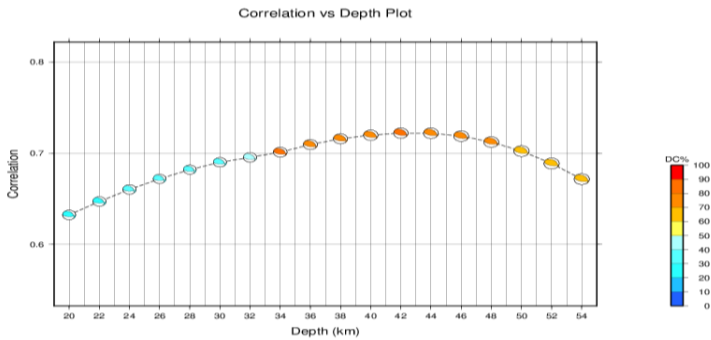
Gambar 4 Kurva *event* 04-08-2014 *origin time* 12:09:47



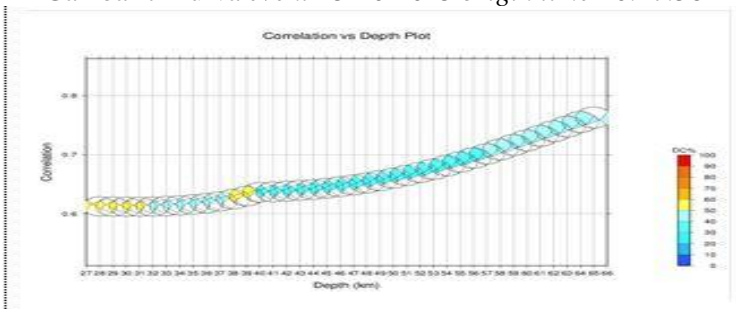
Gambar 5 Kurva *event* 16-08-2017 *origin time* 04:09:04.



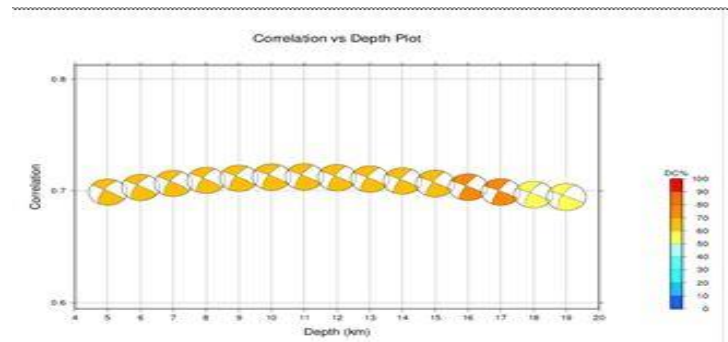
Gambar 6 Kurva *event* 25-05-2017 *origin time* 10:45:29.



Gambar 7 Kurva event 25-10-2015 origin time 20:17:56



Gambar 8 Kurva event 21-06-2016 origin time 14:10:24..

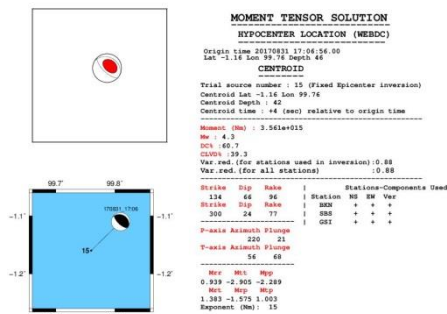


Gambar 9 Kurva event 24-08-2016 origin time 13:48:48.

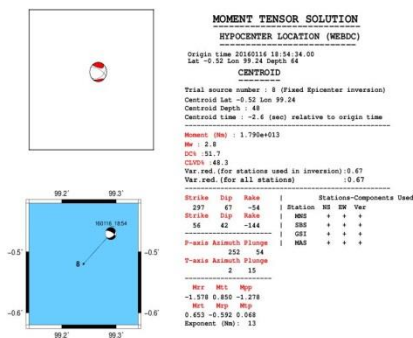
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3

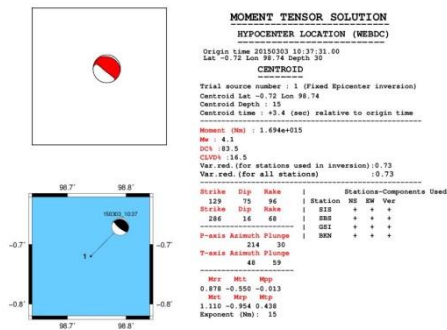
NILAI MOMEN TENSOR DAN POLA BEACHBALL



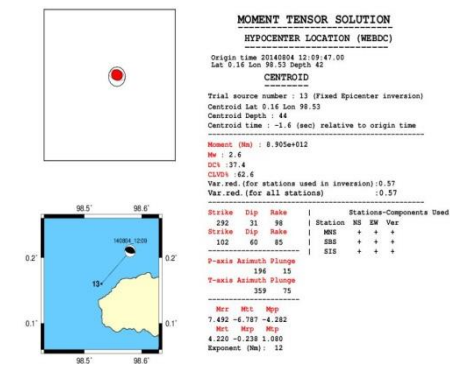
Gambar 1 Momen tensor event 31-08-2017 origin time 17:06:56.



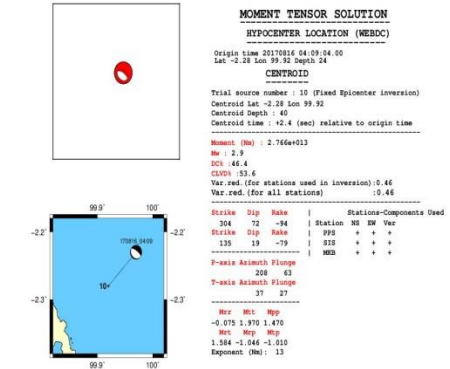
Gambar 2 Momen tensor event 16-01-2016 origin time 18:54:34.



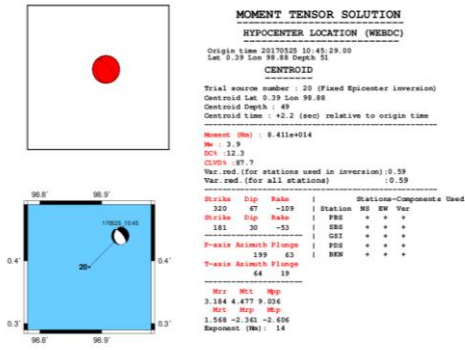
Gambar 3 Momen tensor event 03-03-2015 origin time 10:37:



Gambar 4 Momen tensor event 04-08-2014 origin time 12:09:47



Gambar 5 Momen tensor event 16-08-2017 origin time 04:09:04.



Gambar 6 Momen tensor event 25-05-2017 origin time 10:45:29.

MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (NERC)

Origin time 20160621 14:10:10.24
 Lat -2.2 Lon 99.46 Depth 36

CENTROID

20160621 14:10:10.24
 20160621 14:10:10.24

Trial source number 1 (Fixed Epicenter Inversion)
 Centroid Lat -2.2 Lon 99.46
 Centroid Depth 36
 Centroid time -0.3 (±0.1 sec) relative to origin time

Moment (Nm) 8.821e+13

Nu : 3.2
DC : 14.8
CLVD: 45.2

Var. red. (for stations used in inversion): 0.78
 Var. red. (for all stations): 0.78

Strike Slip Rate Stations-Components Used
 145 56 104 | Station HS NW Var
 Strike Slip Rate | NW + + +
 301 37 70 | SRS + + +

P-axis Azimuth Plunge 215 10
T-axis Azimuth Plunge 9 78

Mw Mlt Mw
 0.654 -8.159 -7.637
 Mlt Mw Mw
 0.553 -9.313 5.081

Exponent (Nm): 13

MOMENT TENSOR SOLUTION

HYPOCENTER LOCATION (MERC)

Origin time: 20100924 12:48:45.00
 Lat = 2.88 Lon 100.0 Depth: 3.5

CENTROID

Trial source number : 14 (Fixed Epicenter inversion)
 Centroid lat = -0.84 Lon 100.23
 Centroid depth : 31
 Centroid time : +4 (sec) relative to origin time

Moment (Dm)	1.93e+015
Mo: 4.1	
DCS: 14.7	
CI/DVA: 34.3	
Var rad (for stations used in inversion): 0.53	
Var rad (for all stations): 0.53	

Strike	Dip	Nake	Station	HR	EW	Vsr
212	49	178	1	SPR	+	+
Strike	Dip <td>Nake <td>1</td> <td>HEB</td> <td>+</td> <td>+</td> </td>	Nake <td>1</td> <td>HEB</td> <td>+</td> <td>+</td>	1	HEB	+	+
303	88	21	1	MRK	+	+
P-axis Azimuth	Flooge		1	RHN	+	+
T-axis Azimuth	Flooge		1	SBS	+	+
			170	14		
-0.394	1.553	-1.784				
Max	Exp					
-0.702	0.323	6.197				
Exponent (Nm)	15					

Gambar 9 Momen tensor *event* 24-08-2016 *origin time* 13:48:48.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis “Masyitatus Daris Salamah” merupakan anak ke 3 dari 6 bersaudara yang lahir di Kota Sumenep pada 14 Juli 1994. Semasa kecil penulis menempuh pendidikan formal antara lain di TK Pertiwi Sumenep, SD Negeri Batuampar 1 Sumenep, SMP Negeri 3 Sumenep, dan SMA Muhammadiyah 1 Sumenep. Semasa kecil penulis mendapatkan pendidikan non formal di Taman Pendidikan Al-Qur'an (TPQ)

Batuampar Sumenep dan Al-Uswah.

Penulis memulai pendidikan S1 di Jurusan Fisika ITS pada tahun 2013 . Selama mengenyam pendidikan S1 di Jurusan Fisika ITS, penulis turut berkontribusi dalam bidang akademik dan organisasi. JMII (2015-2016) . Penulis juga berpartisipasi dalam bidang pengabdian masyarakat dan penelitian yaitu dalam hal program hibah PKM DIKTI yang dibuktikan dengan didanainya PKM Pengabdian Masyarakat pada pendanaan DIKTI 2017 . Selain itu, penulis juga aktif dalam Organisasi Intra ataupun ekstra Kampus yaitu menjabat sebagai Staf Kaderisasi Himasika ITS (2014-2015),serta aktif dalam Forum Mahasiswa Sumenep. Dengan adanya tulisan Tugas Akhir ini, penulis berharap akan adanya pengembangan penelitian gempa bumi lebih lanjut sehingga dapat berguna bagi keberlangsungan kehidupan yang lebih baik. Kritik dan saran yang membangun dapat ditujukan ke email: masyitatusds@gmail.com